

Kalle Pesonen

PUHALLINPROSESSI

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Lokakuu 2010




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 1.12.2010	
Tekijä(t) Kalle Pesonen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Puhallinprosessi			
Tiivistelmä <p>Työssä raportoidaan harjoitustyön laatimisesta sähkötekniikan opiskelijoille. Harjoitustyön kohteena on ilmastointilaboratoriossa sijaitseva puhallinprosessi. Aluksi esitellään lyhyesti ilmanvaihtotekniikan perusteet. Seuraavaksi tutustutaan laitteiston toimilaitteisiin ja kokoonpanoon, jotka esitellään kuvin ja teknisillä tiedoilla.</p> <p>Prosessia voidaan ohjata Modicon Micro STX-logiikalla tai tietokoneeseen liitettävällä tiedonkeruulaitteella NI USB6008. Puhallin rakentuu KOJA:n radiaalipuhaltimesta ja ABB:n 4kW oikosulkumoottorista, jota ohjataan ABB:n taajuusmuuttajalla ACS 600.</p> <p>Sähkötekniikasta toteutusta käsitellään sähköturvallisuuden, laitteiston toimivuuden ja häiriöalttiuden kannalta. Ohjelmointi käydään läpi periaatetasolla ja mallisovelluksen avulla. Harjoitustyöesimerkki sähkötekniikan opiskelijoille on liitetty osaksi työtä.</p> <p>Työ oli kokonaisuutena haastava ja suoriutuminen edellytti tiedon hankkimista oman osaamisalueen ulkopuolelta. Tärkeäksi tietolähteeksi osoittautuivat opintojen aikana muodostuneet verkostot kanssa-opiskelijoihin ja koulun henkilökuntaan.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Automaatiotekniikka, puhallin, Modicon, PL7, taajuusmuuttaja, säädettävyys.			
Sivumäärä 50 + liitteet	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Teemu Manninen		Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin Ammattikorkeakoulu	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 1.12.2010	
Author(s) Kalle Pesonen		Degree programme and option Electrical Engineering	
Name of the bachelor's thesis Puhallinprosessi			
Abstract <p>This thesis includes construction manual of ventilation system which has been made for electric field students at Mikkeli University of Applied Sciences. It should be possible to create similar system by following these instructions. All included instruments and every step of manufacturing has been written out on this document. It also helps users with maintenance and operation of the system.</p> <p>The installations of ventilator and pipes were already done by the staff of the school. The duty of this work was to wire and install rest of the equipment and make a co-operative program using PL7 programming language. There's also an example task which can be used for educational purposes.</p> <p>Process is controlled by Modicon TSX Micro controller, which uses PL7 programming language. The ventilator motor is controlled by ABB's driver ACS 600. There is also an optional control by NI USB 6008 with LabWiev.</p> <p>Working with this subject was challenging. The challenge was due to combination of automation and ventilation system. This combination will be more and more important in the future due to energy requirements of the ventilation systems at facilities.</p>			
Subject headings, (keywords) Automation, Modicon, PL7, ventilation, control.			
Pages 50 + apps.	Language Finnish		URN
Remarks, notes on appendices			
Tutor Teemu Manninen		Bachelor's thesis assigned by Mikkeli University of Applied Sciences	

SISÄLTÖ

KUVALUETTELO

1	JOHDANTO	4
2	ILMANVAIHTOTEKNIikka	4
2.1	Lämpötila sisätiloissa.....	4
2.2	Ilman liike ja veto	5
2.3	Ilmanvaihdon suunnittelu	5
2.4	Ilmanvaihdon määrä	5
2.5	Kanavisto	6
2.6	Tiiviysvaatimukset.....	7
2.7	Painetaso	7
2.8	Säätötekniikka.....	8
2.9	Tarkastukset.....	9
3	TYÖN ESITTELY	9
3.1	Alkuasetelmat	9
3.2	Tavoitteet	9
3.3	Harjoitustyö	10
4	LAITTEISTO	10
4.1	Kanavisto	11
4.2	Laitekotelo	11
4.3	Toimilaitteet.....	13
4.3.1	Vakiovirtaussäädin.....	13
4.3.2	Kuristin imuaukossa.....	14
4.3.3	Virtaussäädin.....	15
4.4	Mittalaitteet.....	15
4.5	Puhallin	17
4.6	Taajuusmuuttaja.....	18
4.6.1	Aloituservojen määrittäminen.....	18
4.7	Moottori	19
4.7.1	Moottorin asennus.....	19
4.7.2	Käyttöönotto	21
4.7.3	Taajuusmuuttajakäyttö.....	21

4.7.4	Tarkastukset	21
4.8	Ohjaus	22
5	SÄHKÖISTYS	24
5.1	Syöttö	24
5.2	Taajuusmuuttajan ja moottorin kytkennät	25
5.3	Pienoisjännite	26
5.4	Imuilmapelti	28
5.5	Maadoitukset	30
6	OHJELMOINTI	30
6.1	PL7-ohjelmointiympäristö	30
6.2	Tulot ja lähdöt	32
6.3	Ohjelmarunko	33
6.3.1	Grafset-kaavio	34
6.3.2	Ladder-kaavio	35
6.3.3	Fast-lohkon ladder-kaavio	36
6.4	Anturitietojen ja ohjaussignaalien sovittaminen	37
6.5	Ilmavirran säätäminen	38
6.5.1	Säätö	38
6.5.2	Säätötavan valinta	38
6.5.3	Säätimen virittäminen	39
6.5.4	Kaskadisäätö	41
6.6	Käyttöpaneeli	42
7	HARJOITUSTYÖ	44
7.1	Laitteiston esittely	44
7.2	Työselostus	45
7.3	Malliratkaisu	46
7.4	Tavoitteiden täyttyminen	46
7.5	Kehitysideoita	47
8	MITÄ OPIN	47
LIITTEET		

KUVALUETTELO

KUVA 1. Ilmanvaihtokanavisto/2/	11
KUVA 2. Kestomuovikotelo/102/.....	12
KUVA 3. Laitekotelo	12
KUVA 4. Vakiovirtaussäädin/103/	13
KUVA 5. Ohjausjännite vs. ilmavirtaus/103/	14
KUVA 6. Virtaussäädin/2/	14
KUVA 7. Paine-erolähetin	15
KUVA 8. Pt100 anturi /107, s.55./	16
KUVA 9. Lämpötilalähetin ja kytkennät/107, s.60./.....	16
KUVA 10. Puhaltimen painegraafi/6./	17
KUVA 11. Puhaltimen tehograafi/6./.....	17
KUVA 12. Moottorin kiinnitys/2/.....	20
KUVA 13. Moottorin akselin liitos/2/.....	20
KUVA 14. Modicon TSX Micro /104/	22
KUVA 15. Analoginen I/O-liitin /108, s.210/.....	23
KUVA 16. NI USB-6008 /105/.....	24
KUVA 17. Häiriö taajuusmuuttajan ollessa valmiustilassa	25
KUVA 18. Häiriö taajuusmuuttajan ollessa päällä	26
KUVA 19. Operaatiovahvistinkytkentä ja jännitteenjako/2/	27
KUVA 20. digitaalisten ohjaussignaalien suojaus/2/.....	28
KUVA 21. Omron jännitelähde/110/	28
KUVA 22. Pellin säätö	29
KUVA 23. Releistyskytkentä	29
KUVA 24. Grafset-ohjelmakaavio.....	34
KUVA 25. Siirtymäaskel	34
KUVA 26. Ladder-ohjelmakaavio yksikkömuunnokset	35
KUVA 27. Ladder-ohjelmakaavio PI-säätö	36
KUVA 28. Tehomittari	37
KUVA 29. P-säädin.....	40
KUVA 30. I-säädin	41
KUVA 31. PI-säädin	41
KUVA 32. Käyttöpaneeli säätötavan valinta	42
KUVA 33. Käyttöpaneeli valvonta	43
KUVA 34. Käyttöpaneeli PI-säätö.....	44

1 JOHDANTO

Kunnollinen sisäilma on tärkeä osa hyvää työilmapiiriä. Sisäilmaan vaikuttavat niin lämpötila, kuin ilman sisältämät epäpuhtaudet ja ilmankosteus. Näihin voidaan vaikuttaa ilmanvaihtolaitteistolla ja siihen asennettavilla kojeilla.

Laitteistoa ohjataan logiikalla, jolle viedään tieto tilassa vaikuttavasta ilmasta erilaisien antureiden avulla. Logiikka ohjaa toimilaitteita kuten peltejä, puhaltimia ja lämmönsiirtimiä, joilla sisäilma optimoidaan.

Ilmanvaihtolaitteiston tulee olla myös energiatehokas. Lämmitettyä sisäilmaa ei kannata hukata vaan lämpö voidaan siirtää uudelleen käytettäväksi. Toimilaitteet tulee säätää siten, etteivät ne kuluta kohtuuttomasti energiaa. Ilmavirtaa ei kannata säätää kuristamalla vaan energiatehokkaammin säätämällä puhaltimien pyörimisnopeutta.

2 ILMANVAIHTOTEKNIikka

Puhallinprosessin suunnittelu ja ohjelmointi edellyttää perustietämystä ilmanvaihtotekniikasta. Tähän kappaleeseen on koostettu ilmanvaihtotekniikan keskeisimpiä näkökulmia, jotka tulee huomioida niin toimilaitteiden valinnassa kuin ohjelmointityösäkin.

2.1 Lämpötila sisätiloissa

Tärkeintä ilmastointisuunnittelussa on oikean sisäilmalämpötilan saavuttaminen. Oikea lämpötila luo perustan terveelliselle sisäilmalle ja viihtyvyydelle. Poikkeavuudet ilmenevät lisääntyneinä valituksina, terveydellisinä haittoina ja työn tuottavuuden vähentymisenä./1, s. 2./

Lämmön säätelyssä on tärkeää lämpötasapainon säilyminen. Ihminen aistii kolmen asteen muutoksen sisälämpötilassa. Myös ilman lämpötilan huojunta aistitaan, mikäli se ylittää 2 °C/h./1, s. 7./

Suurin osa ihmisistä kokee 21-23°C lämpötilan miellyttäväksi asuin- ja työtiloissa (optimilämpö). Henkilökohtaiseen viihtyvyyteen voidaan vaikuttaa vielä vaatetuksella ja huonekohtaisilla termostaateilla, jotka mahdollistavat muutaman asteen poikkeaman./1, s. 2./

Liian korkea lämpötila puolestaan aiheuttaa rakennusmateriaaleissa kuten pinnoitteissa päästöjä, jotka heikentävät ilman laatua. Myös energiaa kuluu hukkaan n. 5 % joista ylimääräistä lämpöastetta kohti./1, s. 14-17 ./

2.2 Ilman liike ja veto

Ihminen aistii vedon tuntemuksen herkemmin huonelämpötilassa joka on säädetty alle optimin. Vedon tunne aiheutuu lämmönsiirrosta iholle ja se koetaan herkimmin niskan alueella. Toisaalta ilmavirtaus tehostaa kehon jäähtymistä aiheuttaen miellyttävän tuntemuksen etenkin optimilämpöä korkeammissa olosuhteissa./1, s. 9-10./

2.3 Ilmanvaihdon suunnittelu

Sisäilmasto luokitellaan tavoitetason mukaisesti luokkiin S1, S2 ja S3. Luokitus S1 merkitsee suurempaa tyytyväisten osuutta sisäilmastoon ja pienempää valitusten määrää. Määritellyjä suureita ovat mm. tavoiteltava lämpötilataso, huonekohtainen säädettävyys, ilman nopeus sekä melutasot./1, s. 13./

2.4 Ilmanvaihdon määrä

Sopivana ilmanvaihdon määränä voidaan pitää 20...25 l/s henkeä kohden toimistorakennuksissa. Henkilötiheydestä riippuen tämä vastaa ilmanvaihtoa 2 L/s m². Haasteellisinta on saada sopiva ilmamäärä jakaantumaan rakennuksen sisällä./1, s. 38./

Ilmanvaihto mitoitetaan henkilömäärän mukaan sopivaksi. Mikäli henkilömäärä ei ole tiedossa, voidaan mitoitus tehdä myös lattiapinta-alan mukaan. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös ulkoilman lämpötilan vaihteluväli ja järjestelmän tiiviys./1, s. 38./

2.5 Kanavisto

Suunnittelutyön perusvaatimuksia ovat mm. energia- ja säätötekniisesti suorituskyykinen, tiivis, äänitekniisesti hallittu, virtaustekniisesti stabiili, muuttuvilla ilmavirroilla toimiva, itsestään perussäätyvä ja helposti esisäädettävä, yksinkertainen suunnitella, helppo käyttää ja esteettisesti miellyttävä./1, s. 115./

Suunnitteluvaiheessa täytyy määrittää kanaviston tilantarve myös risteämille, kannatukselle ja huoltotyölle. Mikäli asennustöiden yhteydessä havaitaan tilanpuute, joudutaan kanavisto usein sijoittamaan aivan eri korkeudelle josta seuraa monia hankalasti ennakoitavia seurannaisvaikutuksia kuten virtauspoikkipinta-alan pieneneminen ja mutkien aiheuttamat pyörteilyt./1, s. 115-116./

Kanavien seinämien materiaalit ja vahvuudet tulee valita siten että kanavat kestävät niihin kohdistuvat rasitukset kuten kuumuuden, korroosion ja puhdistamisen. Materiaalien tulee olla myös palamattomia. Ilmanvaihtokanavat tehdään yleensä galvanoidusta teräksestä./1, s. 116./

Kanaviston osien tulee olla puhtausluokiteltuja. Ne eivät saa muodostaa kasvualustaa mikro-organismeille tai tartuntapintaa epäpuhtauksille. Kanavisto tulee varustaa huoltoluukuilla, joiden kautta puhdistustyö voidaan suorittaa. Luukkuja täytyy päästä käyttämään esteettömästi./1, s. 122-123/

Ilmakanaviston mitoituksen lähtökohtina ovat tilojen käyttötarkoitus, lämmitys- ja jäähdytystarve sekä laatuvaatimus(S1,S2,S3). Kanavamitoituksen tulee luoda hyvät toimintaedellytykset virtaussäätimille ja päälaitteille. Mitä suurempia painehäviöitä kanavistossa ilmenee sitä suuremmilla paine-eroilla säätölaitteet joutuvat toimimaan./1, s. 116-119 ./

Väljä mitoitus alentaa energiakustannuksia painehäviön pienentyessä, helpottaa säätöä ja pienentää melutasoa. Kanavakoot valitaan suurimman ilmamäärän perusteella pääkanavissa ja päätelaitteiden maksimipaineiden perusteella liitântakanavissa./1, s. 116-119./

2.6 Tiiviysvaatimukset

Vuodot ilmanvaihtokanavistossa aiheuttavat äänihaittoja, hajujen ja epäpuhtauksien leviämistä, hygieniaongelmia kanavistolle, kuluttavat energiaa ja luovat hallitsemattomia painesuhteita jotka häiritsevät päätelaitteiden toimintaa./1, s. 127-128./

Ilmanvaihtolaitoksen katsotaan olevan riittävän tiivis mikäli vuotoilmavirta ei ylitä 6% laitoksen kokonaisilmavirrasta.(standardi SFS 4699)./1, s.127-128./

2.7 Painetaso

Lämpötilaero rakennuksen ja ulkoilman välillä aiheuttaa paine-eron(terminen voima), joka ilmenee virtauksina kanavistossa. Virtauksiin vaikuttavat myös kanavistossa vallitseva paine, kanaviston tiiviys ja rakennuksen tiiviys./1, s. 120./

Tarvittava pienin painehäviö on 50...100Pa, joka on vähintään kolminkertainen termiseen painetasoon verrattuna. Painehäviöt saavat olla korkeintaan puolet kanavan keskimääräisestä painetasosta. Tarvittava painetaso selvitetään painehäviölaskelmalla joka kohdistetaan verkoston pisimpään haaraan./1, s. 120-121./

Puhaltimen tuottamaa painetta ja kanavistossa vallitsevaa painetta verrattaessa täytyy huomioida sekä staattinen että dynaaminen paine. Staattista painetta on putkistossa ympäröivään tilaan nähden vallitseva paine ja dynaamista toimilaitteiden kuten virtaussäätimien lävitse vaikuttava paine./5./

Huonetilaan virtaavan ilman määrää voidaan ohjata joko vakiovirtausperiaatteella toimivilla virtaussäätimillä jotka eivät ole riippuvaisia kanavapaineesta tai virtaussäätimillä kuten kuristimilla./1, s. 120-121 ./

Vakiovirtaussäätimen asettelu valitaan ääniteknisesti alimman ja ylimmän toimintapaineen keskiarvon perusteella. Tavanomaisen virtaussäätimen painetaso on sama kuin painehäviö suunnitellulla ilmavirralla./1, s. 120-121 ./

Vakiovirtaussäätimillä ilmavirtauksen asettumisevätarkkuudet määräytyvät sisäisen painehäviön ja hystereesin perusteella. Virtaussäätimien painetasolle aiheuttavat rajoituksen laitteen oma äänenkehitys, kanaviston vuotoäänet ja huoneen korkein sallittu äänentaso./1, s. 120-121 ./

2.8 Säättötekniikka

Säättötekniikka on perusedellytys toimivalle ilmanvaihtojärjestelmälle. Näin saadaan optimoitua ilmanvaihto halutulle tasolle mahdollisimman vähällä energian kulutuksella. Toimivan säättötekniikan toteuttaminen edellyttää tuntemusta ilmanvaihto- ja säättötekniikasta./1, s. 245./

Säättöteknisillä ratkaisuilla pyritään ennakoimaan laitteiston toimintaan ympäristöllistä syistä aiheutuvia häiriötekijöitä kuten ulkoilman lämpötilan muuttumista, sisäilman lämpenemistä auringon lämpösäteilyn voimasta tai tuulen suunnan äkillistä muutosta./1, s. 246./

Lisäksi säättöä suoritetaan korjaaman ilmanvaihdon asettelut vastaamaan tiloissa tapahtuviin kuormituksen muutoksiin, kuten henkilömäärän kasvuun. Säättöratkaisut perustuvat pääasiassa takaisinkytkettyyn säättöön, jossa anturitieto välitetään tehostetuna säätimelle/1, s. 246./

Yksinkertaisimmillaan säättö voidaan toteuttaa on-off-säädöllä vaikkapa perinteisellä termostaatilla. Älykkäämpiä säättötapoja ovat suhteellinen eli P-säättö (proportional), suhteellinen ja integroiva eli PI-säättö, sekä suhteellinen, integroiva ja derivoiva eli PID-säättö. Lisäksi voidaan käyttää vaikkapa sumeaa logiikkaa, jonka käyttöä rajoittaa lähinnä säätölaitteiden laskentateho./1, s. 246./

Säättöön vaikuttaa myös anturien sijoittelu. Esimerkiksi kanava-anturit tulee sijoittaa puhaltimen jälkeen, jottei imupuolella esiintyvä vuotoilma häiritse anturin toimintaa. Lisäksi anturien viive tulee pyrkiä minimoimaan./1, s. 249./

2.9 Tarkastukset

Asennustyön aikana ja lopputarkastuksessa tarkastetaan puhdistusluukkujen toiminta sekä kanaviston puhtaus. Mikäli puutteita havaitaan, joudutaan virheet korjaamaan. Kanaviston pölykertymä havainnoidaan visuaalisesti ja sen tulee alittaa puhtausluokassa P1 $1,0\text{g/m}^2$ ja puhtausluokassa P2 $2,5\text{g/m}^2$./1, s. 125-128.//

3 TYÖN ESITTELY

Tässä luvussa käydään pääpiirteittäin läpi työn tavoitteet ja lähtökohdat. Aihealue rajataan päättötyösopimuksen mukaisesti ja työn tuloksena tuotettavalle harjoitustyölle määritellään selkeät raamit.

3.1 Alkuasetelmat

Mikkelin Ammattikorkeakoulun LVI-laboratorioon tarvitaan puhallinprosessi joka on kyllin selkeä ilmanvaihtotekniikkaan perehtymättömän henkilön omaksuttavaksi. Kanaviston ja puhaltimen asennuksen on suorittanut LVI-alan laboratorioinsinööri Keijo Piirainen, jonka on määrä toimia apuna laitteiston käyttöönotossa ja neuvoa ilmanvaihtotekniikkaa koskevissa kysymyksissä.

Työn valvojana sähkötekniikan koulutusosalta toimii laboratorioinsinööri Teemu Manninen, jonka tehtävänä on vastata laitteiston sähköturvallisuudesta ja neuvoa sähköteknisissä kysymyksissä. Työtä varten tehtävät hankinnat tulee myös hyväksyttää Mannisen kautta.

3.2 Tavoitteet

Laitteistoon tulee kytkeä logiikka, jolla puhaltimen ja oheislaitteiden toimintaa voidaan ohjata. Anturit ja toimilaitteet instrumentoidaan kanavistoon sähköturvallisuutta koskevien säädösten mukaisesti. Työn suorittaminen alkaa suunnittelupöydältä jonka ääreen kokoonnutaan yhdessä pohtimaan työn toteuttamista ja käytössä olevia resursseja.

Projektin aikana tuotetaan sähkötekniikan opiskelijoille soveltuva harjoitustyö, jossa opetellaan logiikan ohjelmointia, taajuusmuuttajan käyttöä, sekä vertaillaan ilmanvirtauksen säätämistä imuilmaa kuristamalla taajuusmuuttajakäyttöön.

Puhallinprosessiin laaditaan valmiudet myös LVI-alan opiskelijoiden mittauksia ja säätöjä varten. Näitä vaatimuksia palvelee dokumentointi ja LabView-liitäntä. Lisäksi Modiconille laaditaan valmis säätöohjelma, jonka avulla voidaan tutkia PI-säätimen vaikutusta prosessiin ja mittalaitteiden keräämiä arvoja.

3.3 Harjoitustyö

Laitteistoista tehdään selkeä, jotta opiskelijat pystyvät hahmottamaan anturoinnin ja toimilaitteiden sijainnit ja päättämään niiden tehtävät. Dokumentointi tukee osaltaan työn suorittamista. Laitteiden liitospisteet logiikkaan merkitään selkeästi näkyviin.

Seuraavassa vaiheessa opiskelijat ryhtyvät selvittämään i/o-kytkentöjä ja testaamaan toimilaitteiden ja anturien toimintaa logiikan kanssa. Samalla alkaa prosessiohjelman tuottaminen, joka johtaa toimivaan puhallinprosessiin.

Työn edetessä opiskelijat vertailevat energiankulutusta taajuusmuuttajakäytön ja imuilman kuristamiseen perustuvan käytön välillä ja hahmottavat näin taajuusmuuttajan energiatehokkuuden.

Lisäksi työssä on tavoitteena esitellä opiskelijoille erilaisten laitteiden käyttämistä logiikan yhteydessä, kuten tavallinen kiinteistön energiamittari, jonka pulssitieto välitetään logiikan digitaalituloon.

4 LAITTEISTO

Laitteisto käydään lävitse kokonaisuuksittain siten että lukijalle välittyy selkeä kuva laitteiden toiminnasta ja tarkoituksesta. Lisäksi muutamista laitteiston osista esitetään kuvaajia ja tarkempaa tietoa, jotka tukevat prosessin säätöarvojen asettamista.

4.1 Kanavisto

Kanaviston alkupää on rakennettu halkaisijaltaan 300mm alumiiniputkesta, joka haarautuu T-kappaleella kolmeen 250mm vaakaputkeen. Kahden ylemmän vaakaputken virtausta voidaan säätää sähköisesti vakiovirtausventtiileillä. Alimman hormin lävitse kulkemaa ilmamäärää voidaan ohjata mekaanisesti virtaussäätimellä.



KUVA 1. Ilmanvaihtokanavisto/2/.

Kanaviston päihin tulee asennettavaksi päätelaitteet joiden avulla kanaviston painetta voidaan säädellä. Päätelaitteilla voidaan vähentää myös ilmavirrasta aiheutuvaa melua. Päätelaitteiden yhteyteen asennetaan silkkinauhat indikoimaan ilmavirtaa putkien päässä.

4.2 Laitekotelo

Laitekoteloksi valittiin Enston Cubo-C-sarjan kestopuovikotelo, jossa on kirkas, läpinäkyvä kansi. Kotelon mitat ovat 200x400x187mm. Kotelon pohjalla on asennuslevy, johon logiikka ja Din-kiskot asennettiin. Kotelo on varustettu korotusreunuksella.

/101./



KUVA 2. Kestomuovikotelo/102/.

Läpivienteihin asennettiin vedonpoistonysät tai laippaläpiviennit. Lisäksi kaapeleiden ympärille kiristettiin nippusiteet vedonpoistajiksi. Ohjauskaapeleita varten kotelon taajuusmuuttajan puoleinen pääty avattiin suojakourun kohdalta.



KUVA 3. Laitetekelo

4.3 Toimilaitteet

Toimilaitteiden tehtävänä on tuottaa prosessille mittausarvoja ja ohjata prosessin toimintaa käyttäjän asettamien käskyjen mukaisesti. Prosessissa on aktiivisia, itsesäätyviä toimilaitteita, sekä sähköisesti ja mekaanisesti toimivia passiivisia laitteita.

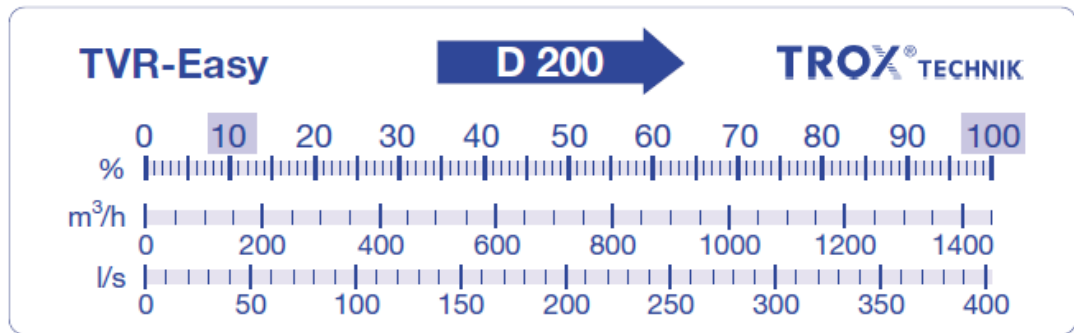
4.3.1 Vakiovirtaussäädin

Kahdessa ylemmässä kanavassa on TROX:n TVR-Easy vakiovirtaussäätimet. Laite on helppokäyttöinen eikä tarvitse erillistä ohjausjärjestelmää toimiakseen. Laitteessa on merkkivalo joka indikoi vilkkuessaan eroa asetusarvon ja oloarvon välillä. Lampun palaessa asetusarvo on saavutettu. Säätimen yhteydessä on kaksi potentiometriä, joilla voidaan valita minimi ja maksimiarvot säädölle. /103./



KUVA 4. Vakiovirtaussäädin/103/.

Laitteessa on pyöreä, kanavan muotoinen säätölevy, jota ohjataan sähköisesti 24Vdc käyttöjännitteellä. Ohjaus tapahtuu 0-10Vdc jänniteviestillä. Säätimen yhteydessä oleva dynaamista painetta mittaava anturi toimii alueella 20 – 1000 Pa. Venttiilin lävitse kulkeva ilmamäärä voidaan selvittää laskennallisesti ohjausjännitteen avulla seuraavan kuvan mukaisesti./103./



KUVA 5. Ohjausjännite vs. ilmavirtaus/103/.

4.3.2 Kuristin imuaukossa

Puhaltimen imupuolella on karamoottorilla säädettävä pelti, jolla puhaltimen ottamaa ilmamäärää voidaan säätää ja putkistossa vallitsevaa staattista painetta laskea. Karamoottorin pyörimissuunta valitaan syöttämällä jännitettä toiseen ohjausjohtimeen, joista musta sulkee ja ruskea avaa säätöpeltiä. Niiden yhtäaikainen syöttö tulee estää sähköisesti.



KUVA 6. Virtaussäädin/2/.

Karamoottorissa on valmiina raja-kytkimet, jotka pysäyttävät moottorin toiminnan säätöpellin liikeradan lopussa. Karamoottori on tyypiltään Magnetic GC 84 SR-1. Tyypikilven mukaan tehoa on 800 W, karan pituus 200mm ja nopeus 8mm/s.

4.3.3 Virtaussäädin

Alimmassa kanavassa on käsisäätöinen iiris, jolla voidaan havainnollistaa staattista toimilaitetta automatisoidussa järjestelmässä. Iiriksen molemmin puolin on paineletku dynaamisen paineen mittausta varten.

Paine-erolähtetimen avulla voidaan selvittää virtaussäätimen lävitse kulkeva ilmamäärä kun k-arvo on tiedossa. K-arvo ilmaisee aukon kokoa pellin tietyssä asennossa ja se voidaan lukea virtaussäätimen säätökojeesta.

4.4 Mittalaitteet

Putkistossa vallitsevaa staattista painetta mitataan paine-erolähtetimellä(PEL01), joka muuntaa tiedon vallitsevasta paineesta virta- tai jänniteviestiksi. Mittausalue asetella jumppereilla 100, 300, 500, tai 1000 Pa. Mittauspiste vaikuttaa oleellisesti mittaustulokseen joten oikeaa paikkaa saattaa joutua hakemaan luotettavan tuloksen varmistamiseksi.



KUVA 7. Paine-erolähtetin

Kanavassa virtaavan ilman lämpötilaa tutkitaan PT100-anturilla, joka on asennettu ilmanvaihtokanavaan läpivientiholkin avulla. Anturi varustetaan lähettimellä, jossa PT100-anturin vastusarvo muutetaan jänniteviestiksi.

Anturi on malliltaan TL500P1-150H. Anturin HS-teräksestä valmistetun mittavarren pituus on 15cm ja siihen on liitetty armeerattu tefloneristeinen kolmen kaapelin johdin. Anturin maksimilämpötila on 600°C ja kaapelin 400°C./107, s.54-55/.

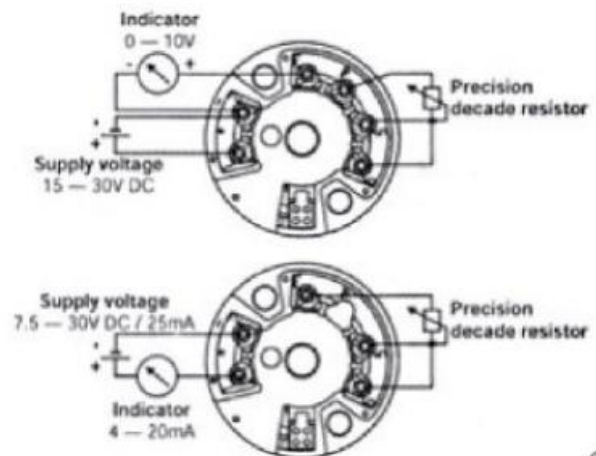


KUVA 8. Pt100 anturi /107, s.55./

Lähetin on Mullerin TA10, jolle syötetään käyttöjännite 24Vdc. Lähettimeen liitetään kolmijohtiminen PT100-anturi. Jänniteviesti 0-10Vdc välitetään parikaapelilla ohjaukselle. Lähetin soveltuu mitta-alueelle -200 – 850°C ja se säädetään ohjelmallisesti tehdastilauksen yhteydessä. Työssä käytettävä lähetin on säädetty alueelle 0-100°C./107, s.60-61/.



Ilmoita alue tilattaessa!

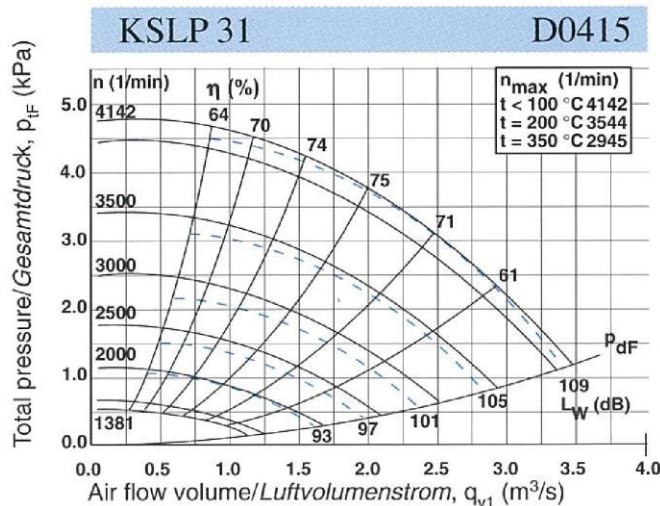


KUVA 9. Lämpötilälähetin ja kytkennät/107, s.60./

Energiankulutusta tutkitaan Enermet E420-ns KWh-mittarilla. Mittarissa on optoeroitettu pulssilähtö, jossa yksi kilowattitunti vastaa 500 pulssia. Pulssilähdön tuloon kytetään syöttöjännite 24Vdc.

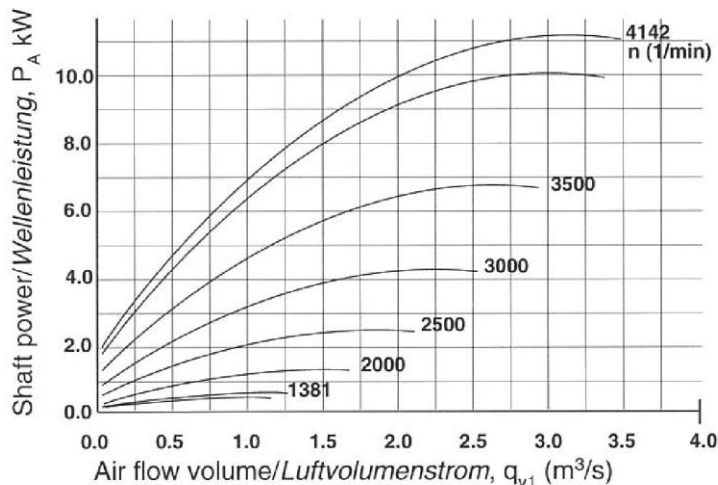
4.5 Puhallin

Puhallin on Koja-merkkinen radiaalipuhallin, jonka tyyppikilvessä ilmoitetaan tuotenumeroiksi 650402-001A ja malliksi KSLP-031-7-RDO-D415. Näistä arvoista voidaan tulkita puhaltimen olevan keskiökiinnitteinen, sisältävän seitsemän lapaa, joiden syvyys on 31 cm ja kärkiväli 415cm.



KUVA 10. Puhaltimen painegraafi/6./

Puhaltimen painekuvaajasta voidaan havaita maksimi-ilmavirraksi nopeudella 3000 rpm n. 2,5 kuutiometriä sekunnissa. Mikäli kaikkien kolmen hormin virtaus oletetaan olevan enintään 600 l/s, joka on vakiovirtaussäätimien maksimiasetteluarvo, vaaditaan puhaltimelta n. 2200 – 2500 RPM nopeutta jotta kanavistoon saadaan muodostettua 100 Pa paine. Puhallin soveltuu siis hyvin prosessin tarpeisiin.



KUVA 11. Puhaltimen tehograafi/6./

Tehokuvaajasta voidaan havaita puhaltimen vaativan n. 4,2 kW tehon 3000 RPM nopeudella siirtäessään 2,5 kuutiometriä ilmaa. Moottori käytetään siis hieman nimellistehoaan suuremmalla kuormalla kanavien ollessa täysin avoinna. Pitkäaikaista ylikuormitusta tulee välttää moottorin vaurioitumisen ehkäisemiseksi.

4.6 Taajuusmuuttaja

Moottoria ohjataan ABB:n ACS 600-taajuusmuuttajalla, jonka nimellisteho on 5,5kW. Käyttöönottovaiheessa taajuusmuuttajaan tulee määrittää moottorin kilpiarvot ja suorittaa ID-ajo jotta säätö voidaan suorittaa tarkasti ja turvallisesti. /109./

Taajuusmuuttajaa voidaan ohjata paikallisesti paneelin käyttöpainikkeilla tai etäkäyttönä i/o-porttien tai väylän kautta. Moottoria voidaan ohjata taajuusohjeella, nopeusohjeella tai momenttiohjeella. Lisäksi voidaan valita pyörimissuunta ja suorittaa hätäpysäytys. /109./

Parametrien avulla määritetään moottorille kiihdytys ja jarrutusajat, jotka on syytä määrittää riittävän pitkiksi puhallinkäytössä, jottei laitteisto joudu liian kovalle rasitukselle. Kiihdytysajaksi sopii n.4s. täyteen nopeuteen ja hidastus voidaan suorittaa vapaasti jarruttamatta moottoria. /109./

4.6.1 Aloitusarvojen määrittäminen

Ennen taajuusmuuttajan käyttöönottoa täytyy määrittää asetusarvot joiden perusteella taajuusmuuttaja pystyy ohjaamaan moottoria kuormittamatta sitä liikaa. Käyttöönottotiedot määritellään taajuusmuuttajan parametrivalikossa./109./

Tärkeimpiä parametreja ovat moottorin kilpiarvoista löytyvät käyttöjännite, nimellistaajuus, nimellinen pyörimisnopeus, nimellisvirta sekä nimellisteho. Pyörimisnopeuden tulee vastata käytettävää jännitettä ja taajuutta. Säätötapana voidaan käyttää skaalarisäätöä, sillä muut säätötavat edellyttävät anturitietoja moottorilta tai täydellisen ID-ajon suorittamista. /109./

Parametrivalikosta löytyvät myös minimi- ja maksimirajat, jotka on syytä asettaa ainakin virralle ja pyörimisnopeudelle. Moottoria voidaan kuormittaa väliaikaisesti mitoitusvirtaa suuremmalla virralla, mutta se aiheuttaa moottorin käämityksessä voimakasta lämpenemistä. Puhallinkäytössä ei ole tarvetta kääntää moottorin pyörimissuuntaa joten negatiiviset arvot on syytä rajata pois. Laakerien vaurioitumisen ehkäisemiseksi moottorin nimellisyörimisnopeutta ei tule ylittää. /109./

Seuraavaksi moottorille on syytä suorittaa ID-ajo, jonka aikana taajuusmuuttaja pyörittää moottoria 20-80% nimellisa nopeudella ja tarkkailee moottorin käyttäytymistä. Moottorin täytyy olla kuormittamaton testin aikana! Tarvittaessa voidaan käyttää rajoitettua ID-ajoa, mikäli moottoria ei voida täysin irrottaa kuormasta. /109./

ID-ajon tuloksena taajuusmuuttajaan tallentuu malli moottorin käyttäytymisestä, joka mahdollistaa tarkemman säädön ja tuo käyttöön muutamia lisäominaisuuksia, kuten esim. kyvyn käynnistää pyörivä moottori. /109./

4.7 Moottori

Puhaltimen voimanlähteenä käytetään ABB:n M2AA 112 M-tyyppistä ilmajäähdytteistä oikosulkumoottoria. Moottorilla on kilpiarvoissaan seuraavia ominaisuuksia: käyttöjännite 400V, nimellisa nopeus kolmiokytkennässä 2895, nimellisteho 4kW, nimellisa virta 7,6A, sekä hyötysuhde 0,89./106./

Moottoria voidaan käyttää -20°C...+40°C lämpötiloissa, enintään 1000m asennuskorkeudella merenpinnasta syöttöjännitteellä, jonka toleranssi on maksimissaan +-5% ja taajuuden vaihdella korkeintaan +-2%. Moottorin suurinta sallittua kierrosnopeutta ei saa ylittää laakereiden vaurioitumisen estämiseksi. Moottorin käämityksen ja voiteluaineiden suurin sallittu lämpötila on 110°C./106, s.15./

4.7.1 Moottorin asennus

Moottori on kiinnitetty moottoripetiin säätöruuvein, joilla akseli saadaan kohdistettua puhaltimen akseliin. ABB:n moottorimanuaalissa todetaan että ”loppukäyttäjällä on täysi vastuu alustan valmistamisesta.”, joten moottorin kiinnitykset on syytä tarkistaa

käyttöönoton yhteydessä. Moottorin jalkojen välinen korkeusero ei saa olla yli $\pm 0,1\text{mm}$. Alustan tulee olla suojattu korroosiolta ja kiinnitysten tulee kestää käytön aiheuttama värinä./106, s. 7./



KUVA 12. Moottorin kiinnitys/2/.

Akselit on liitetty toisiinsa kytkimellä, joka estää koneen aiheuttamien värähtelyiden siirtymisen puhaltimen laakereihin. Kytkimen asennustarkkuus on luokkaa $0,05\text{mm}$ joka on maksimiarvo akselien sivuttaispoikkeamalle/106, s.8./



KUVA 13. Moottorin akselin liitos/2/.

Liitöntäkotelossa on kuusi liitintä staattorikämeille ja suojamaadoitusliitin. Kytkettäessä vaiheet järjestyksessä L1,L2,L3 pyörii moottori akselinpäästä katsottuna myötäpäivään. Kahden vaiheen järjestystä muuttamalla voidaan pyörimissuunta vaihtaa. Läpivientiholkkien tulee olla samaa suojausluokkaa kuin moottorikotelon ja ylimääräiset läpivientireiät on tulpattava/106, s.8./

4.7.2 Käyttöönotto

Mikäli moottori on juuri asennettu tai edellisestä käyttökerrasta on kulunut aikaa tulee moottorikäämien impedanssit mitata. Eristysvastuksen täytyy ylittää ohjearvo $100\text{M}\Omega$ 25°C lämpötilassa 500 tai 1000Vdc mittausjännitteellä. Mikäli eristysvastus on heikompi, tulee moottorin käämit kuivattaa ja mittaus suorittaa uudelleen. Mikäli eristysvastus ei edelleenkään täytä vaadittua arvoa joudutaan koneen käämitys uusi-
maan./106, s. 7./

4.7.3 Taajuusmuuttajakäyttö

Taajuusmuuttajakäytössä koneelle välittyvä jännite ei ole sinimuotoista vaan siinä esiintyy voimakkaita jänniterasituksia joiden vuoksi koneen jännitekestoisuus tulee mitoittaa erityisesti taajuusmuuttajakäyttöä varten./106, s.11./

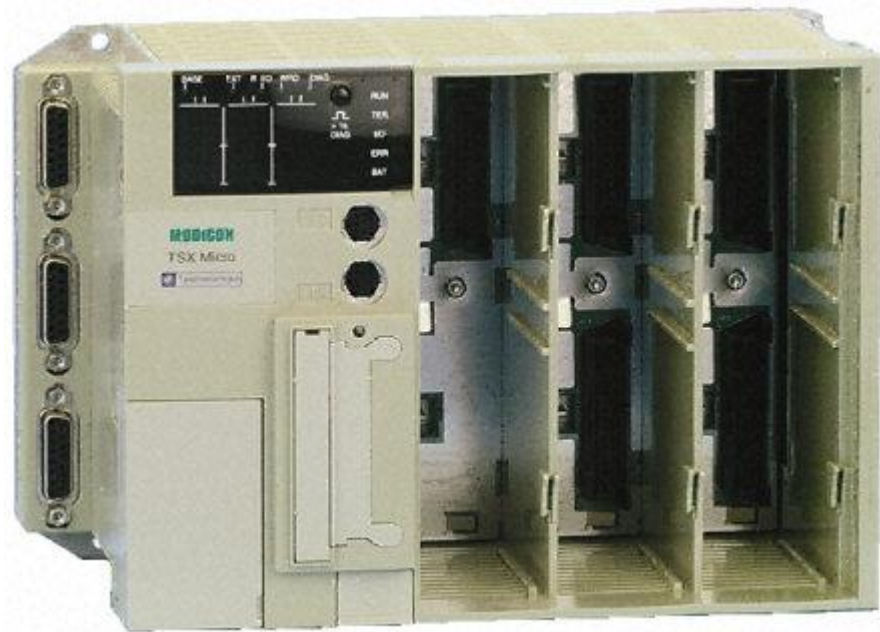
Moottorin suurin sallittu vaihejännite taajuusmuuttajakäytössä on 1300V. Taajuusmuuttajan jännitetason ollessa alle 500V riittää moottorille ABB:n vakioeristys./106, s.13./

4.7.4 Tarkastukset

Moottorin kunto tulee tarkastaa vähintään vuoden välein ja se tulee pitää puhtaana. Tuuletusjärjestelmä täytyy puhdistaa pölystä ja liasta jäähdytyksen toiminnan varmistamiseksi. Akselitiivisteiden kuntoa tulee tarkkailla säännöllisesti. Kiinnitysruuvien kireys tulee varmistaa tarkastusten yhteydessä. Laakerivaurioiden ilmenemistä tulee seurata kuuntelemalla koneen käyntiä tai käyttämällä erityisiä mittalaitteilla./106, s.14/

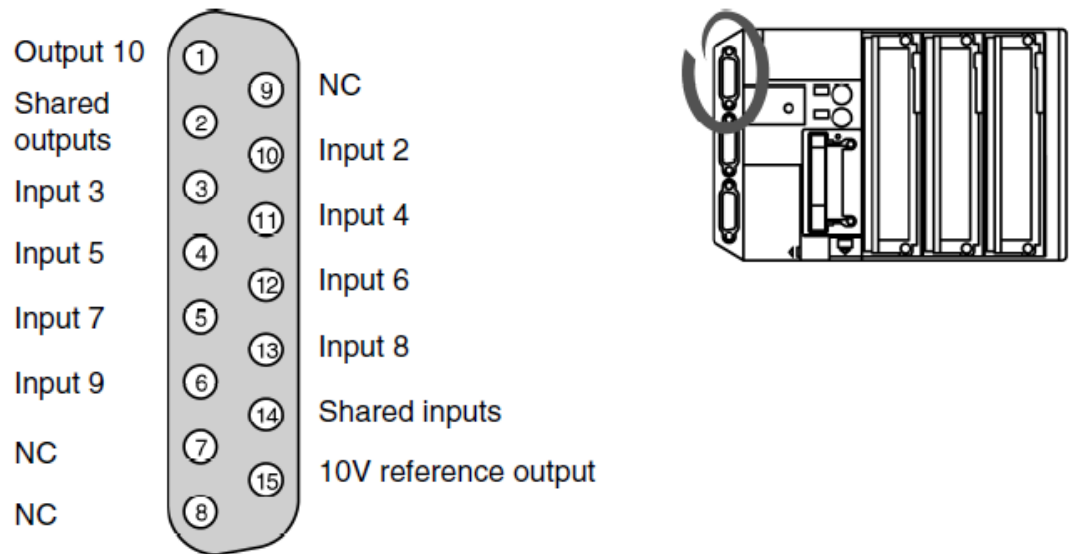
4.8 Ohjaus

Modicon TSX 37 21 PLC-logiikka käsittää alustan jossa on 230Vac jännitelähde, 20kt:n keskusmuisti, Flash-muistikortti varmuuskopiointia varten, 2 PCMCIA-liitaintää, sekä reaaliaikainen kello. Alustaan voidaan liittää kolme täysimittaista tai kuusi puolikasta liitântäkorttia./104./



KUVA 14. Modicon TSX Micro /104/.

Logiikkaan on integroitu kahdeksan analogista tuloa ja yksi lähtö. Niiden liittimet löytyvät vasemmalla ylimmäisestä sarjaporttiliittimestä. Tuloja voidaan ohjata joko jänniteviestillä 0-10 V tai virtaviestillä 0 – 20mA. Lähtö antaa jänniteviestin 0-10V./104./



KUVA 15. Analoginen I/O-liitin /108, s.210/.

Digitaalisia tuloja (16kpl) ja lähtöjä(12kpl) saadaan käyttöön laajennuskortilla DSXDMZ 28DT, joka on liitetty ensimmäiseen liitäntäpaikkaan(1-2). Lisäkortti TSXASZ200 tarjoaa puolestaan kaksi analogista lähtöä, jotka toimivat joko jännite tai virtaviestillä. Kortti vie puolikkaan liitäntäpaikan ja se on paikassa numero 5./104./

Logiikan ohjelmointi tapahtuu sarjaliitinkaapelilla liitetyllä PL7-ohjelmistolla. Logiikkaa voidaan käyttää joko ohjelmointiohjelman avulla tai itsenäisesti kun laadittu ohjelma on ladattu logiikan muistiin./104./

Laitteisto varustetaan myös liittimellä, jonka kautta prosessia voidaan ohjata Labview-ohjelmistolla. Liitin varustetaan National Instrumentsin tiedonkeruulaitteella(KUVA16) NI USB-6008. Ohjaus erotetaan sähköisesti Micro STX:n ohjauksista releistyksen ja diodien avulla. Lisäksi digitaalisten porttien jännite sovitetaan laitteistolle sopivaksi.



GND	1	17	P0.0
AI 0/AI 0+	2	18	P0.1
AI 4/AI 0-	3	19	P0.2
GND	4	20	P0.3
AI 1/AI 1+	5	21	P0.4
AI 5/AI 1-	6	22	P0.5
GND	7	23	P0.6
AI 2/AI 2+	8	24	P0.7
AI 6/AI 2-	9	25	P1.0
GND	10	26	P1.1
AI 3/AI 3+	11	27	P1.2
AI 7/AI 3-	12	28	P1.3
GND	13	29	PFI 0
AO 0	14	30	+2.5 V
AO 1	15	31	+5 V
GND	16	32	GND

KUVA 16. NI USB-6008 /105/.

5 SÄHKÖISTYS

Toimilaitteiden ja laitekotelon sähköistys käydään läpi aihealueittain. Sähköistys aloitetaan syötön määrittelemisestä, jonka yhteydessä lasketaan tehontarve. Seuraavaksi käsitellään muutamien laitteiden sähköistystä, joiden kytkentä laitteistoon vaati hiukan ajatustyötä. Lopuksi käsitellään laitteiston maadoituksia.

5.1 Syöttö

Laitteisto ottaa käyttöjännitteen kolmivaiheisen 32 A pistoliitimen kautta. Syöttökaapeli on kytketty suoraan energiamittariin, josta se tuodaan laitekoteloon johdonsuoja-katkaisijoille 3x16A (C-käyrä) ja 6A, joista jälkimmäinen on varattu ohjausjärjestelmien käyttöön(LIITE 2).

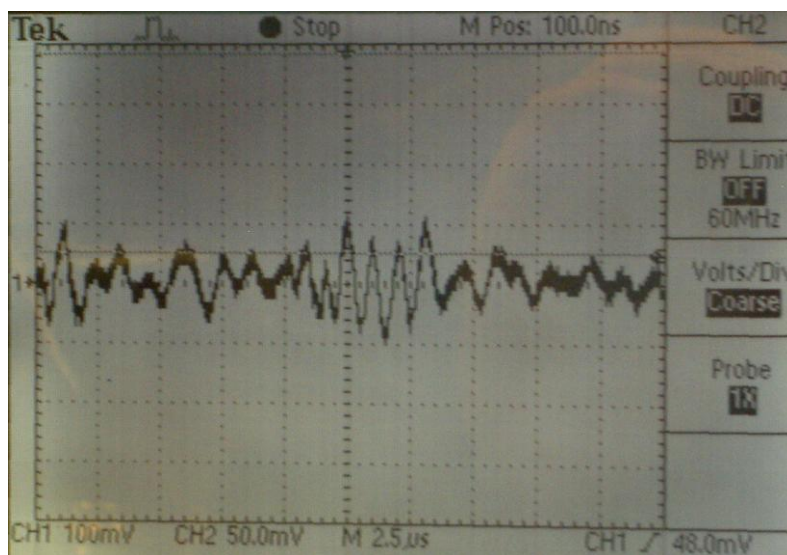
Ohjaussulakkeen(6A) jälkeen on asennettu välirele sulkeutuvalla kärjellä. Relettä ohjataan avautuvalla hätäseis-painikkeella siten että painiketta painettaessa rele vapauttaa kärjet ja katkaisee ohjausjännitteen kaikilta laitteilta.

Järjestelmän pääkytkimenä toimii kaksipakkainen 1-0-2-nokkakytkin, jolla voidaan valita käyttötavaksi Micro STX-ohjaus(1) tai Labview-ohjaus(2). Ensimmäinen pakka

kytkee jännitteen ohjauslaitteisiin ja taajuusmuuttajan kontaktorin ohjauskärkiin molemmissa käyttöasennossa. Toinen pakka kytkee modiconin ohjausjännitteen asennossa 1 ja pienjänniteohjauksen labviewpiiriin asennossa 2.

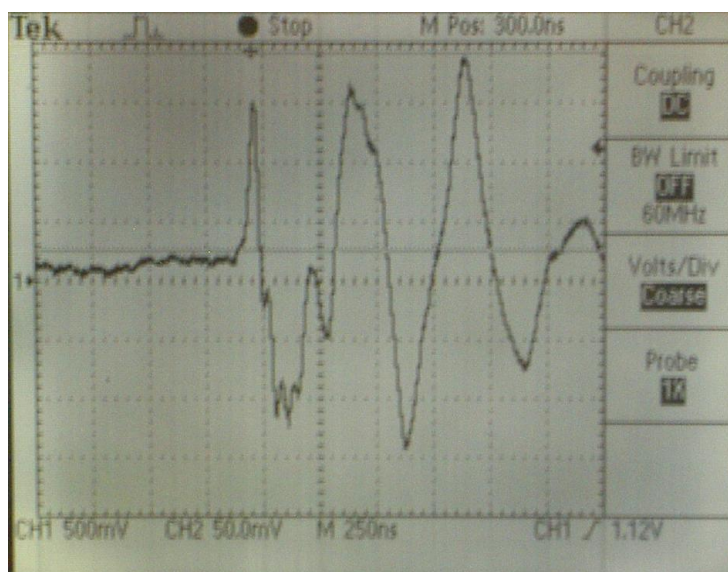
5.2 Taajuusmuuttajan ja moottorin kytkennät

Moottori kytketään kolmiokytkentään jolloin moottori tuottaa suuremman vääntömomentin. Liitäntäkaapelina taajuusmuuttajan ja moottorin välillä tulee käyttää konsentrisella johtimella häiriösuojattua kaapelia, jossa on vähintään kolme johdinta. Tarkoitukseen soveltuu hyvin maakaapelina käytettävä MCMK 4*2,5 + 2,5. Moottorin liitäntäkotelossa nolla ja suojamaa jätetään kytkemättä häiriöiden välttämiseksi.



KUVA 17. Häiriö taajuusmuuttajan ollessa valmiustilassa

Taajuusmuuttajan aiheuttama häiriö ilmenee kuvassa 18, jossa on havaittavissa jopa yli 2V suuruisia piikkejä analogisessa tulossa. Piikit ovat kestoltaan lyhyitä ja siten helposti suodatettavissa RC-piirillä tai logiikan signaalisuodattimella. Ylemmässä kuvassa on vertailukohtana häiriö analogisessa portissa taajuusmuuttajan ollessa valmiustilassa.



KUVA 18. Häiriö taajuusmuuttajan ollessa päällä

Taajuusmuuttajalle tuodaan syöttö laitekotelosta viisi-johtimisella H07RN-F 5x2,5S kumikaapelilla. Maadoitus kytketään taajuusmuuttajan runkoon ja nolla erilliseen liittimeen.

Taajuusmuuttajassa on kytkentärimat analogisille tuloille ja lähdöille, digitaalisille tuloille ja relelähdoille(LIITE 1). Lisäksi taajuusmuuttajassa on muutamia optisia portteja ja liittäntöjä väyläkaapeleille./109./

5.3 Pienoisjännite

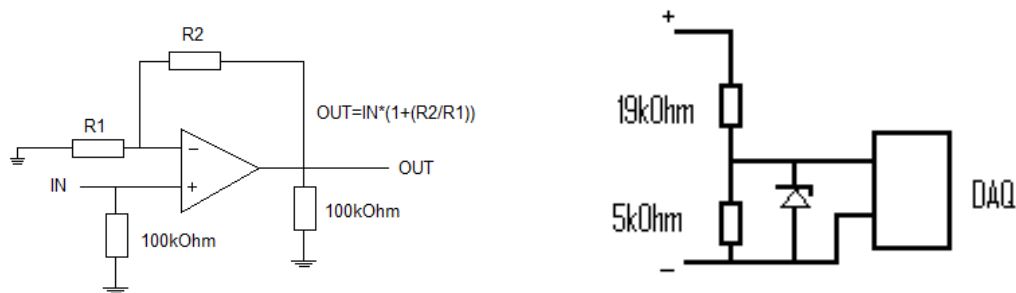
Laitteiston toimilaitteet vaativat 24Vdc käyttöjännitteen toimiakseen. Lisäksi pienoisjännitettä käytetään ohjausviestien välittämiseen(LIITE 3). Jännitelähde mitoitetaan reilusti suurimman laskennallisen kuormituksen yläpuolelle, jottei sen lämpenemisestä aiheudu haittaa prosessin toiminnalle.

Modicon käyttää ohjausjännitteenä 24Vdc digitaalisissa porteissa ja 0-10Vdc tai 0-20mA analogisissa porteissa. Herkemmät toimilaitteet kuten taajuusmuuttajan ohjainkortti on järkevää erottaa ohjausvirtapiiristä galvaanisesti esim. optoerottimilla jännitepiikkien tai oikosulun varalta.

Analoginen virtaviesti voidaan muuntaa helposti jänniteviestiksi asettamalla tuloporttiin ohjausjännitteen rinnalle 500Ohm:n vastus, jolloin 20mA virta rajoittuu 10Vdc. Vastuksen arvoa muuttamalla voidaan vaikuttaa viestin skaalaukseen.

$$R_v = \frac{10V}{20mA} = 500\Omega$$

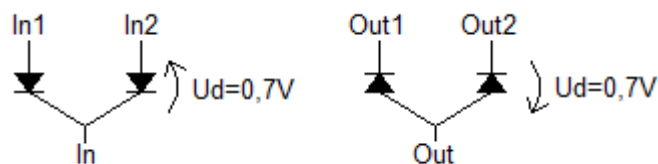
NI USB-6008 digitaaliportit toimivat jännitealueella 0-5 Vdc ja kykenevät syöttämään n. 8mA virtaa. Jännite nostetaan laitteiston vaatimaan 0-24Vdc optoerottimilla ja transistoreilla. Tulojen jännite puolestaan pudotetaan jännitteenjakopiirillä (Kuva 11). Analogisten lähtöjen jännite nostetaan 10Vdc tasolle operaatiovahvistimilla.



KUVA 19. OperaatiovahvistinkytKentä ja jännitteenjako/2/.

Modiconin analogiset lähdöt ja tulot erotetaan galvaanisesti labview:n ohjauksista pienoisreleillä. Releissä on 5Vdc käämi, jota ohjataan valintakytkimen kautta 24Vdc-jännitteellä. Jännite säädetään regulaattoreilla releille sopivaksi. Regulaattorit tulee varustaa jäähdytysileillä sillä ne tuottavat toimiessaan reilusti lämpöä.

Digitaaliset väylät suojataan diodeilla, siten etteivät labview-sovittimen ohjaussignaalit pääse vahingoittamaan logiikan tuloja tai lähtöjä. Modicon tulkitsee digitaalisen signaalin välillä 19-30Vdc joten diodin aiheuttama 0,7V jännitteenalenema ei tuota ongelmia laitteistolle.



KUVA 20. digitaalisten ohjaussignaalien suojaus/2/.

Toimilaitteiden käyttöjännitteen tuottaa OMRON:in 24Vdc:n S8JX hakkurijännitelähde. Jännitelähde tuottaa 1,4A virran ja kuluttaa noin 50W tehoa. Se on varustettu ylikuormitussuojalla, joka katkaisee syötön havaitessaan 105% kuormituksen. Suoja estää jännitteen kytkeytymisen kunnes ylikuorma kytketään pois. Syöttöjännitettä voidaan hienosäätää -10% - +15%./110./



KUVA 21. Omron jännitelähde/110/.

5.4 Imuilmapelti

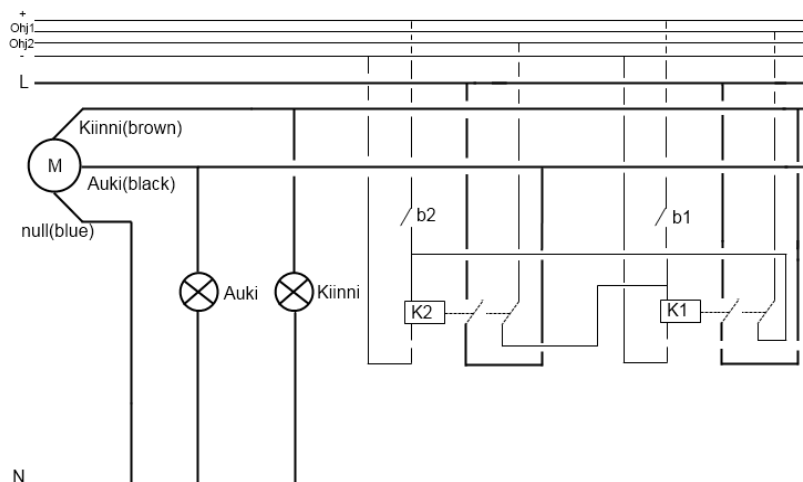
Karamoottori oli kytketty järjestelmään pistotulppaliitännäisellä laitekotelolla, jossa oli auki/kiinni-vipu sekä merkkivalot toiminnoille. Karamoottorin ohjaus muutettiin loogikkakäyttöiseksi pienoisjännitereleiden avulla, joten käyttövipu poistettiin käytöstä.



KUVA 22. Pellin säätö

Merkkivalot jätettiin toimintaan jotta opiskelijat voivat havaita ohjauksen toimivan. Laitetekotelolle vietiin kumikaapeli 5x2,5S, jonka kahdessa vaihejohtimessa tuodaan moottorille käyttöjännite pienoisreleiltä. Musta johtimeen kytketty jännite avaa peltiä ja mustaan sulkee sitä.

Alla olevassa kuvassa esitetään logiikan ohjaama relekytkentä, jolla ohjataan karamoottoria auki taikka kiinni. Releissä on 24Vdc käämi ja niiden kaksi vaihtokärkeä kestävät verkkojännitteen. Relekytkennässä on estetty releiden samanaikainen käyttö. Laitetekoteloon asennettiin lisäksi kaksi painonappia, jotka on kytketty pienoisreleiden käämeihin. Niillä voidaan avata ja sulkea pelti ilman logiikkaa.



KUVA 23. Releistyskytkentä

5.5 Maadoitukset

Kaikki laitteiston verkkojännitteelle alttiit osat pienoisjännitejärjestelmää lukuun ottamatta liitetään tähtimäisesti suojamaadoitukseen laitekotelon potentiaalintasausliittimessä. Näin vältetään käytön aikana laitteiston kosketeltavien pintojen tuleminen jännitteiseksi. Myös laitekotelon metallinen pohjalevy on liitetty potentiaalintasaukseen.

Suojamaadoitusjohtimien ja liittimien materiaalivahvuuden ja merkinnät noudattavat standardin SFS 6000-5-54 vaatimuksia. Maadoitusjohtimissa on käytetty keltavihreää väritunnusta(suojakuori) ja ne on liitetty potentiaalintasauskiskoon ruuviliittimin. Pohjalevy on maadoitettu ruuvikiinnikkeeseen kaapelikenkäkiinnikkeellä. Kanavisto on maadoitettu potentiaalintasauskiskoon erillisellä 16m² maadoitusjohtimella.

Ohjauskaapeleiden konsentrisen johdin liitetään tähtipisteeseen laitekotelossa jolloin estetään verkkojännitteisten kaapeleiden luoman magneettikentän häiriöt ohjaussignaaleissa. Tähtipiste pidetään erillään kiinteistön maadoituksesta jotta sähköverkossa esiintyvät häiriöt eivät siirry ohjaussignaaleihin. Tiedonsiirtokaapeleiden ja ohjausjärjestelmien maadoittamisesta annetaan ohjeita standartissa SPS 600-4-44 kohdassa 5.1.

6 OHJELMOINTI

Luvussa esitellään PL7-ohjelmointiympäristö, tutustutaan hieman ladder- ja grafset-ohjelmointikieliin ja annetaan vinkkejä laitteiston ohjelmointiin.

6.1 PL7-ohjelmointiympäristö

Logiikka on laite joka ottaa vastaan tietoa antureilta ja välittää sitä edelleen toimilaitteille ohjelmoidulla tavalla. Vasteaikaan vaikuttavat logiikan ominaisuudet kuten laskentateho ja muistikapasiteetti. Logiikan ohjaaman prosessin laajuutta rajoittaa käytettävissä olevien tulojen ja lähtöjen määrä. /3./

Ohjaus voidaan toteuttaa kriteeriohjauksena tai askeltavana ohjauksena. Kriteeriohjauksessa työvaiheet eivät seuraa toisiaan vaan toimilaitteita ohjataan anturitiedon mukaisesti. Askeltavassa ohjauksessa edetään askeleesta toiseen siirtoehtojen täyttyessä./3./

Ohjelmaa luotaessa täytyy ottaa huomioon laitteiston kyky käsitellä lukuja. PL7-ohjelmointiympäristössä käytössä ovat kokonaisluvut välillä 0-33k. Tätä suuremmat luvut ohjelma tulkitsee negatiivisiksi lukuarvoiksi. Laskutoimituksia ja säätöjä tehtäessä tulee riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi käyttää n. 1k lukuarvoja. On tärkeää rajata laskutoimitusten tulokset siten etteivät ne ylitä 33k rajaa./4./

PL7-ympäristössä voidaan ohjelmointitavaksi valita strukturoitu teksti (ST), relekaavio-ohjelmointi (LADDER) tai askeltava ohjaus (GRAFSET). Ohjelma voidaan luoda joko Master- tai Fast-osioon, joista jälkimmäinen pystyy käsittelemään nopeita alle 100ms:n jaksoja ja tiheää anturisignaalia kuten työssä käytettävän energiamittarin pulssitulo. Fast-lohkossa ei voida käyttää askeltavaa ohjausta.

Relekaavio-ohjelmoinnissa luodaan virtapiirejä, joissa anturitiedot tai muistipaikat ohjaavat koskettimien tilaa, jotka voivat ohjata muistipaikkaa tai lähtöportin tilaa. Lisäksi ohjelmaan voidaan luoda toimilohkoja(Function block) kuten ajastimet, data-muunnokset, RS-piirit ja matemaattiset piirit. Ladder-ohjelmoinnissa tulee välttää karkien päällekkäisohjausta. /3./

Grafset-ohjauksessa määritellään aluksi aloitusaskel (Initial step), josta ohjelman suoritus alkaa. Ohjelmapuuta aletaan rakentaa ylhäältä alaspäin vuoroin askelilla ja vuoroin siirtymäehdoilla. Ohjelmarunkoa voidaan jakaa valintahaaroihin(OR) tai yhtäaikaisiin haaroihin(AND). Askeleisiin liittyvät toiminnot voivat olla tallennettuja(S), viivästettyjä(D), aikarajoitettuja(L), ehdollisia tai pulssimuotoisia(P)./3./

Jokaiseen askeleeseen voidaan ohjelmoida toiminto joka suoritetaan joko askeleen aktivoituessa, ollessa aktiivisena tai askeleen vaikutuksen lakatessa. Mielekkäämpää on kuitenkin käyttää relekaaviossa ehtona askeleen aktiivisuutta. Jokainen askel luo tilastaan muistipaikan %X_NUMERO, joka on aktiivinen askeleen ollessa aktiivinen.

6.2 Tulot ja lähdöt

Logiikkaan liitetyt laitteet saavat osoitteen käyttämänsä portin mukaisesti. Tuloja merkitään kirjaintunnuksella I, lähtöjä taas Q. Kirjaimen perässä olevan numerotunnuksen ensimmäinen osa ilmaisee käytettävän laitekortin ja toinen osa portin, joiden numerointi alkaa 0:sta. Analogisessa portissa on lisätunnus W.

Oheiseen taulukkoon on koottu laitteistoon liitetyt toimilaitteet I/O-osoitteiden perusteella. Listauksen laatiminen on ohjelmointityön ensimmäinen vaihe, sillä sen avulla voidaan kohdistaa laitteille ohjausviestejä ja tarkastella niiden arvoja.

TAULUKKO 1. I/O:t

I/O Taulukko			
i1.0	kWh-pulse		
i1.1	TAMU Rele 1 Käy		
i1.2	TAMU Rele 2 Vika		
i1.3	Olotila painike		
i1.4	Punainen painike		
i1.5	Vihreä painike		
i1.6	Nappi1		
i1.7	Nappi2		
i1.8	Nappi3		
q2.0	TAMU Start		
q2.1	Tamu vakionopeus		
q2.2	Imupelti auki		
q2.3	Imupelti kiinni		
q2.4	Merkkivalo		
iw0.2	Paine-ero	0-1000Pa	0-10V
iw0.3	PT100	0-100C	0-10V
iw0.4	TVR-E, Ylempi	0-600l/s	0-10V
iw0.5	RIKKI		
iw0.6	TAMU	qw1	0-10V
iw0.7	TAMU	qw2	0-10V
iw0.8	Potentiometri		0-10V
iw0.9	TVR-E, Alempi	0-600l/s	0-10V
qw0.10	TAMU	RPM	0-10V
qw5.0	TVR-E, Ylempi	0-600l/s	0-10V
qw5.1	TVR-E, Alempi	0-600l/s	0-10V

Taulukkoa tarkasteltaessa täytyy kiinnittää huomiota analogisten porttien käyttämään viestimuotoon, sillä se voi olla laitteistosta riippuen virta- tai jänniteviestiä. Virheellisen viestin käyttäminen voi pahimmassa tapauksessa jopa rikkoa portin, kuten iw0.5:lle näyttää käyneen.

Seuraavassa taulukossa ovat vastaavasti esillä Labview-laitteen tulot ja lähdöt.

TAULUKKO 2. Labview I/O-taulu

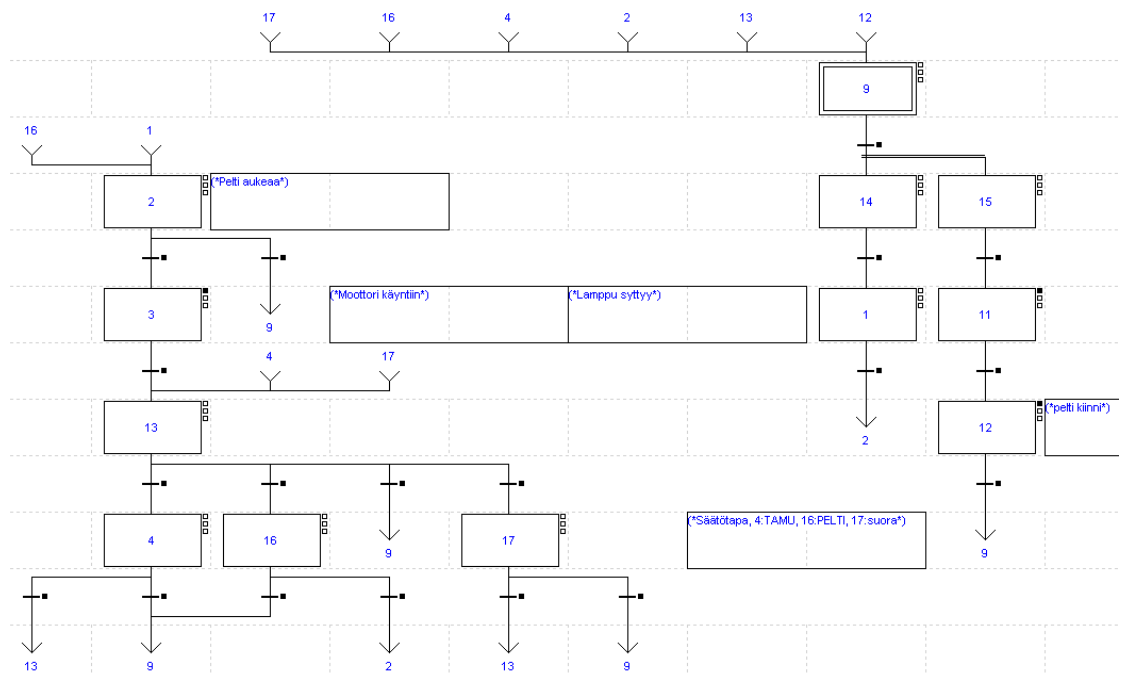
I/O-taulu	
DI0	kWh-pulse
DI1	TAMU ON
DI2	Punainen nappi
DI3	Vihreä nappi
DO0	TAMU START
DO1	TAMU Vakionopeus
DO2	Imupelti auki
DO3	Imupelti kiinni
DO4	Lamppu
AI0	TVR-E Ylä Tila
AI1	TVR-E Ala Tila
AI2	Paine-ero
AI3	Pt-100
AI4	TAMU Tila1
AI5	TAMU Tila2
AO0	TVR-E, Ylä
AO1	TVR-E, Ala

6.3 Ohjelmarunko

Ohjelmassa on kolme yhtä aikaisesti vaikuttavaa pääkaaviota, jotka ovat Master-lohkon ladderkaavio ja grafset-kaavio, sekä Fast-lohkon ladderkaavio. Prosessi etenee grafset-kaaviossa, jossa ohjelman vaihe on selkesti esillä ajon aikana. Siirtymäehdot ja grafset:n askeleet on ohjelmoitu ladder-kielellä. Master-lohkoksa oleva ladderkaavio sisältää yksikkömuunnosten, säätimen ja ohjauspaneelin ohjelman. Fast-lohkon ladderkaavioon on ohjelmoitu tehomittari ja energiamittari.

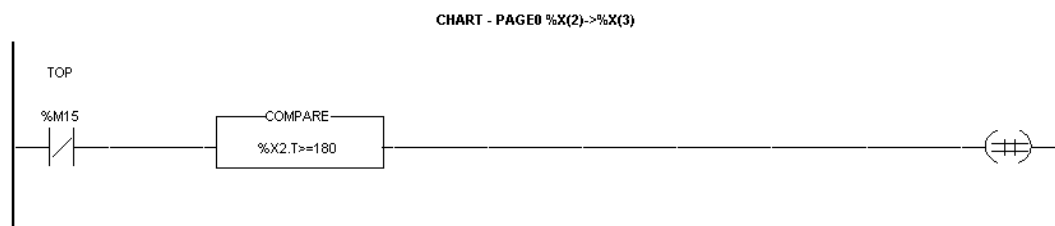
6.3.1 Grafset-kaavio

Ohjelman suoritus alkaa aloitusaskeleesta 9 jonka jälkeen seuraa siirtymäehto ja rinnakaishaara(AND) josta ohjelman suoritus etenee odotusaskeleisiin 14 ja 15. Siirtymäehto 14-1 toteutuu vihreän painikkeen painuttua ja 15-11 punaisen painikkeen painuttua. Lisäksi niissä on muutamia ehtoja, joilla estetään päällekkäiset toiminnot kuten ohjelman käynnistyminen häiriötilassa.



KUVA 24. Grafset-ohjelmakaavio

Askel 2 avaa imuilmapellin ja sitä seuraava siirtymäehto odottaa viiveen (kuva 25) kulumista ennen seuraavaan askeleeseen siirtymistä. Askel 3 antaa taajuusmuuttajalle käskyn käynnistää moottori prosessia varten.



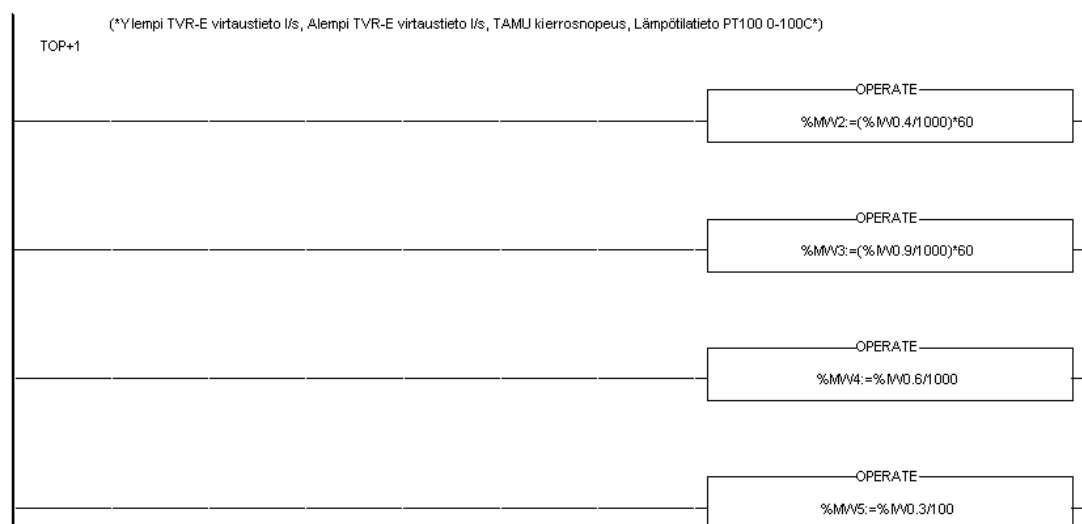
KUVA 25. Siirtymäaskel

Siirtymäaskeleen 13 jälkeen ohjelman suoritus jakautuu vaihtoehtoisin(OR) haaroihin, joihin siirrytään säätötavan mukaisilla siirtymäehdoilla. Säätöaskeleista ohjelman suoritus palaa siirtymäehtojen mukaisesti joko alkuaskeleeseen 9 tai vaihtaa säätötappaa. Siirryttäessä pois kuristussäädöstä palautuu ohjelman suoritus askeleeseen 2, jotta pelti saadaan avattua.

Punaisen painikkeen painaminen siirtää ohjelman suorituksen vasemmasta haarasta aloitusaskeleeseen 9 ja pysäyttää moottorin askeleessa 11 jonka jälkeen pelti sulkeutuu askeleessa 12. Ohjelma palaa aloitusaskeleeseen viiveen jälkeen.

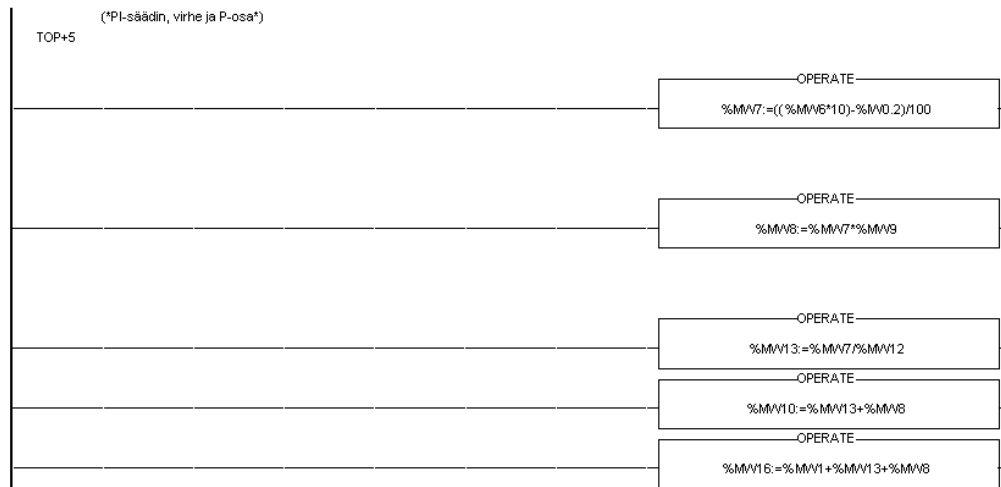
6.3.2 Ladder-kaavio

Ladder-kaaviossa suoritetaan toimilaitteiden ohjausta ja yksikkömuunnoksia grafset-lohkon etenemisen mukaisesti. Ajastinlohkot ja operate-lohkot on syytä sijoittaa ladder-kaavioon, sillä grafsetin askeleissa määritellyt toiminnot säilyttävät tilansa ohjelman siirtyessä seuraaviin askeliin.



KUVA 26. Ladder-ohjelmakaavio yksikkömuunnokset

PI-säätö on toteutettu ladder-kaaviossa operate-lohkoissa. Virhe saadaan asetusarvon ja painetiedon erotuksesta ja siitä operoidaan P- ja I-säädoilla. Säätöarvo lisätään moottorin nopeuskäskyyn edelleen operate-lohkolla.

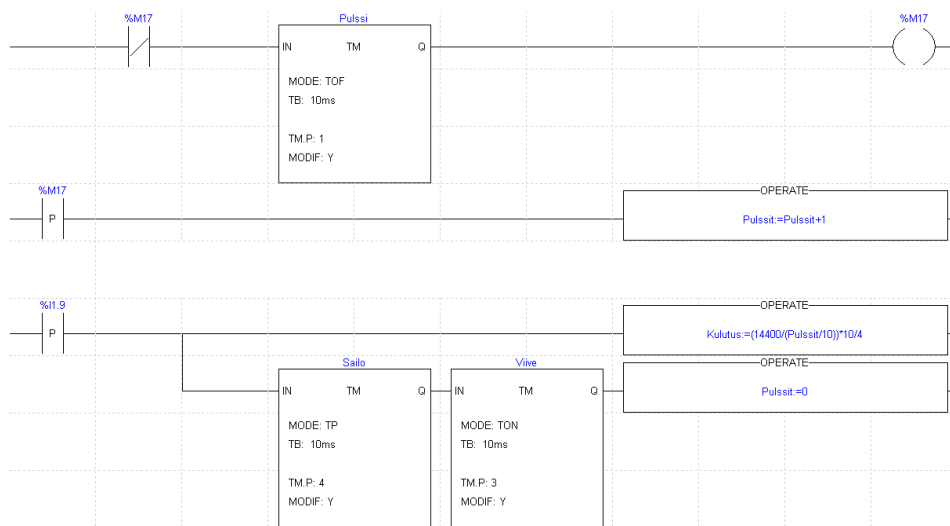


KUVA 27. Ladder-ohjelmakaavio PI-säätö

6.3.3 Fast-lohkon ladder-kaavio

Sijoittamalla ohjelma Fast-lohkoon saadaan käyttöön nopeammin reagoivia tuloportteja ja nopeampi ohjelman suoritussykli, joka mahdollistaa tarkempien ajastimien ja laskureiden käytön. Fast-lohkossa ei voi kuitenkaan käyttää raskasta grafset-kaaviota vaan ohjelmointi tulee suorittaa ladder-kaaviolla tai tekstimuodossa.

Energiamittarilta logiikan digitaalituloon vaikuttava pulssi on kestoaltaan lyhyt, alle 30ms mittainen. Pulssin tiheys on 5kW kuormalla 1,44s ja lisäksi tarkan tuloksen aikaansaamiseksi pulssien välistä aikaa tulee laskea 10ms tarkkuudella. Alla olevassa kuvassa on esitetty aikalaskuriin perustuva tehomittari.



KUVA 28. Tehomittari

6.4 Anturitietojen ja ohjaussignaalien sovittaminen

Anturitiedot ja ohjaussignaalit kulkevat logiikan analogisten porttien välityksellä joko jännite 0-10V tai virtaviesteinä 0-20mA tai 4-20mA. Jotta tietoja toimilaitteiden välillä voidaan käsitellä, täytyy ne muuttaa vastaamaan oikeita yksiköitä. Logiikka käsittelee jänniteviestin tuhannesosina, eli skaala on 0-10000mV. Muunnos tapahtuu ohjelmallisesti Operate-lohkolla, jossa voidaan määrittää muuttujan %MW_NUMERO arvoksi sisääntulon tai lähdön tieto kerrottuna taikka jaettuna kokonaisluvulla.

Lämpöanturi lähettää logiikalle tilatiedon 0-10000mV ja sen lähettimeen on määritetty rajoiksi 0-100°C. Muuttujaan %MW_NUMERO saadaan oikea lämpötila jakamalla jänniteviesti sadalla. Vakiovirtaussäätimien tilatieto välittyy niin ikään 0-10000mV jännitteenä ja niiden rajat ovat 0-600 l/s. Jänniteviesti tulee näin ollen jakaa 100 ja kertoa 6 jotta tarkkuus säilyy. Taajuusmuuttajalta saadaan paluuviestinä kierrosnopeus 0-10000mV rajoinaan 0-2895rpm, joten se täytyy kertoa murtoluvulla 579/2000.

6.5 Ilmavirran säätäminen

6.5.1 Sääto

Harjoitustyön tavoitteena on luoda kanavistoon vakiopaine. Tämä vakiopaine saadaan aikaan joko säätämällä puhaltimen teho vastaamaan vakiopainesäätimien ja säätöventtiiliin painehäviötä tai säätämällä imuilmapellin asentoa moottorin toimiessa vakionopeudella.

Sääto suoritetaan logiikalla tai labview-ohjelmistolla käyttötavan valinnasta riippuen. Säätoarvo asetetaan vastaamaan normaalien ilmanvaihtomitoitusten mukaista arvoa(luku 2.) n. 50-100 Pa. Takaisinkytkentäviesti saadaan mittausarvona kanavan paineanturilta. Eroviesti välitetään toimitusnopeuteen taajuusmuuttajalle joka ohjaa puhallinta tai sulkupeltiä.

Sääto on vaikea järjestelmän viiveistä johtuen. Paineanturi välittää painetiedon logiikalle nopeasti, mutta paine reagoi viiveellä puhaltimen pyörimisnopeuden muutoksiin. Viive on n. 1 – 3 s. riippuen muutoksen nopeudesta. Viiveeseen vaikuttaa myös taajuusmuuttajan toiminta ja vakiovirtaussäätimien toiminta.

6.5.2 Säätoavan valinta

Staattisen kanavapaineen säätöön soveltuu parhaiten PI-sääto(Luku 2.), jolla ei ole P-säädön kaltaista pysyvää poikkeamaa. P-kerroin kasvattaa ohjaussuureta voimakkaasti mittausarvoon nähden. I-komponentti puolestaan integroi erosuureta tasoittaen ohjaussuuren muutoksia. /1, s.250-255/

Säätimen ohjelmointi

Monissa ohjelmointisovelluksissa on valmiita säädinyksiköitä, mutta työssä käytettävään ohjelmaan PI-säädin tulee rakentaa matemaattisia yhtälöitä käyttäen. Aluksi täyttyä selvittää ohjearvon ja oloarvon välinen erotus, eli virhe.

$$\text{Virhe} = \text{Asettelu} - \text{Oloarvo}$$

Seuraavaksi virhe vahvistetaan P-säädöllä, johon liittyy vahvistuskerroin K_p

$$Psäätö = Virhe * K_p$$

I-säätö muodostetaan lisäämällä muutos aiempaan virheeseen. Myös I-säädössä käytetään kerrointa K_i .

$$Isäätö = Virhe + \frac{Virhe}{K_i}$$

PI-säädön matemaattinen esitys on siis muotoa

$$PIsäätö = \left(Virhe + \frac{Virhe}{K_i} \right) * K_p$$

Säädin voidaan toteuttaa *operate*-lohkojen avulla. Säätöä voidaan tarvittaessa vahvistaa säädettävälle suurelle (moottorin nopeus tai pellen asento) sopivaksi. Lisäksi se kannattaa rajoittaa siten, ettei erosuure kasva säätöaluetta suuremmaksi.

6.5.3 Säätimen virittäminen

Alla oleva kaava(kaava01) kuvaa vahvistuskerrointen vaikutusta erosuureeseen ajankohdalla t . Vahvistuskerrointen määrittäminen on kuitenkin syytä tehdä kokeellisella menetelmällä käyttäen hyväksi vaikkapa Mathlab-ohjelmistoa.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt$$

$$K_i = K_p / T_i$$

$u(t)$ = säätimen ulostulo hetkellä t

$e(t)$ = erosuure hetkellä t

K_p = vahvistuskerroin

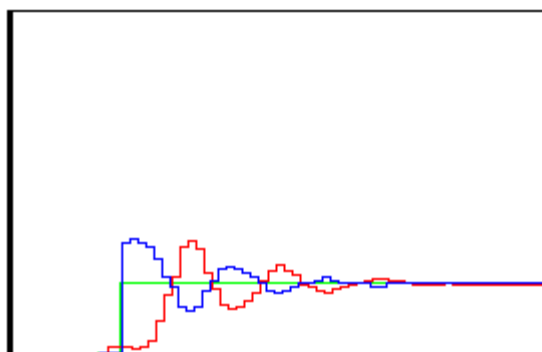
K_i = integrointiin liittyvä
vahvistuskerroin

T_i = integrointi- eli palautusaika

KAAVA 1. /1 s.252./

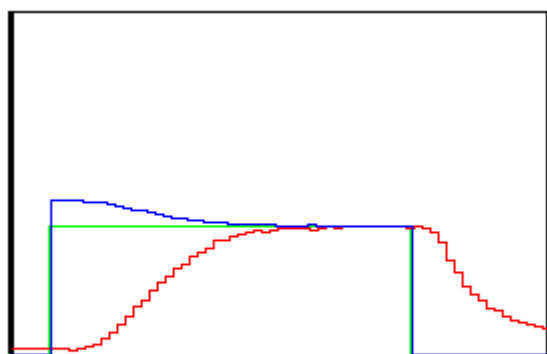
Kokeellinen määrittäminen aloitetaan luomalla prosessista malli, johon syötetään mitausviiveet ja säädön hitaudet. Malliin lisätään P- j I-vahvistukset ja niille haetaan sopivat kertoimet, joilla säädettävä suure saadaan pysymään vaadituissa rajoissa eikä värähtelyä ilmene.

Alla olevissa kuvissa on esitetty prosessin valvontapaneelin avulla tuotetut kuvaajat. Säätimen kertoimia muuttamalla on saatu aikaan pelkästään P-vahvistuksella varustettu säädin(Kuva 29), vahvalla I-kertoimella varustettu säädin(Kuva 30), sekä PI-säädin(Kuva 31)



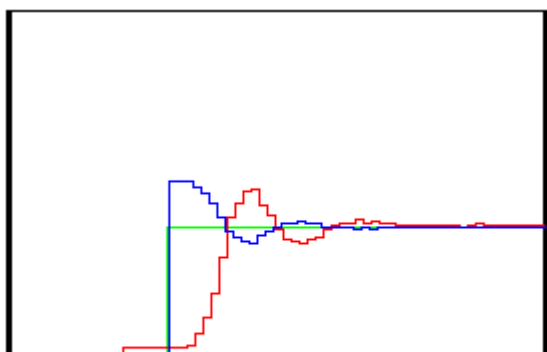
PI-säätö: sininen —
asetusarvo: vihreä —
oloarvo: punainen —

KUVA 29. P-säädin



PI-säätö: sininen
asetusarvo: vihreä
oloarvo: punainen

KUVA 30. I-säädin



PI-säätö: sininen
asetusarvo: vihreä
oloarvo: punainen

KUVA 31. PI-säädin

6.5.4 Kaskadisäätö

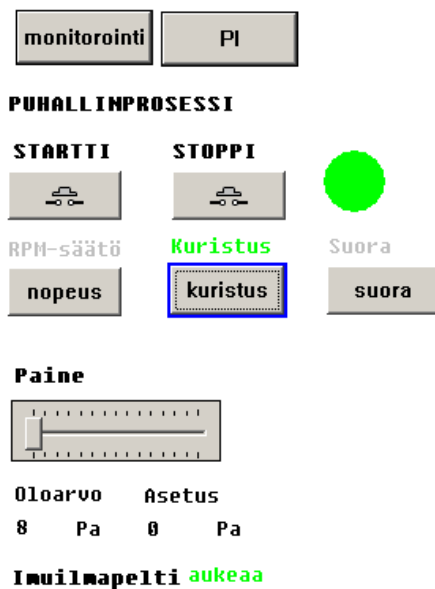
Paineen säätäminen imuilmapeltiä kuristamalla on haastavaa, sillä pellin ohjaus tapahtuu releiden avulla. Pienikin liike pellissä aiheuttaa huomattavan muutoksen kanavistuksen paineessa. Ratkaisuna voidaan käyttää kaskadi- eli sisäkkäissäätöä, jossa suoritetaan aluksi karkea säätö jota tarkennetaan hienommalla säädöllä. /4./

Säädintä ohjelmoitaessa tulee estää karkean ja hienon säätimen yhtäaikainen toiminta, estää säädintä värähtelemästä etsimällä sopivat PI-säädön kertoimet ja estää laitteiston vaurioituminen liian tiheästä säätötaajuudesta viiveiden avulla.

6.6 Käyttöpaneeli

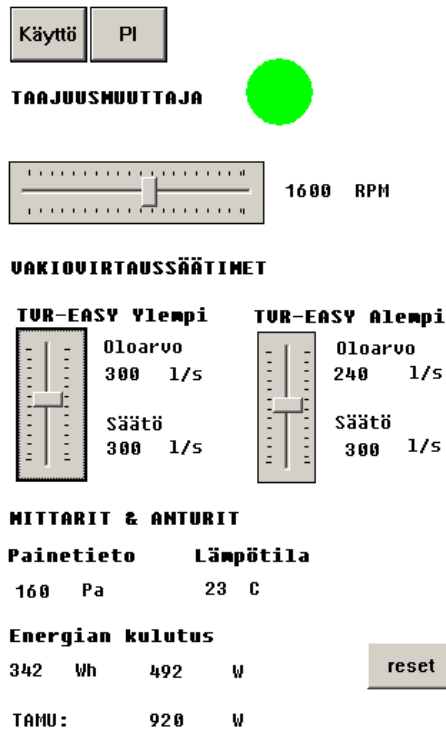
Prosessin hallinnassa voidaan käyttää laitekotelon kannessa olevia painikkeita ja potentiometriä tai PL7-ohjelmointiympäristössä toteutettua käyttöpaneelia. Käyttöpaneeliin voidaan luoda dynaamisia painikkeita, liukusäätimiä, merkkivaloja ja ilmaista arvoja numeraalisesti.

Puhallinprosessiin on laadittu kolme erillistä käyttöpaneelin sivua joiden välillä voidaan liikkua yläreunan painikkeilla. Ensimmäisellä lehdellä voidaan käynnistää ja pysäyttää prosessi, valita säätötapa ja määrittää paineen asetteluarvo.



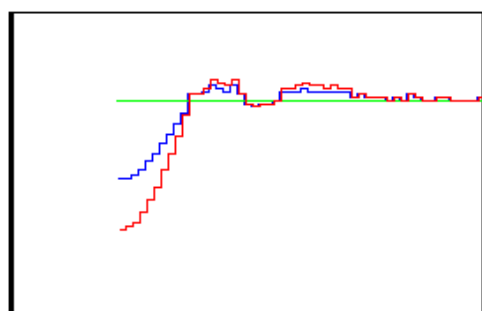
KUVA 32. Käyttöpaneeli säätötavan valinta

Toisella lehdellä nähdään antureiden ja toimilaitteiden tiloja. Taajuusmuuttajan nopeus esitetään liukusäätimellä ja numeroarvona. Vakiovirtaussäätimien asettelu tapahtuu niin ikään liukusäätimillä joiden vieressä esitetään numeerisesti asettelu- sekä oloarvot. Alalaidassa on lisäksi näkyvillä painetieto, lämpötilatieto ja energian kulutus, sekä imuilmapellin tila.



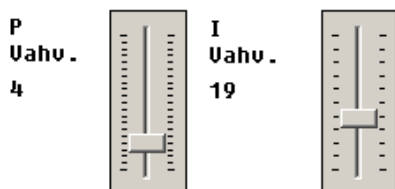
KUVA 33. Käyttöpaneeli valvonta

Kolmannella lehdellä ovat PI-säädön asetteluarvot ja kuvaaja jonka avulla säätöarvojen vaikutusta säätöön voidaan tarkastella. Kuvan tilanteessa huojunta ei voimakasta, mutta asetteluarvoon päästään hitaasti kiinni. P-kerroin vaikuttaa olevan kohdallaan, mutta I-säätöä on syytä lisätä hieman.



PID-säätö: sininen
 asetusrvo: vihreä
 oloarvo: punainen

Virhe:0 Säätö:0



KUVA 34. Käyttöpaneeli PI-säätö

7 HARJOITUSTYÖ

Tämän luku on laadittu pohjaksi sähkötekniikan opiskelijoiden harjoitustyölle. Luvun kappaleita voi käyttää sellaisenaan harjoitustyömonistetta laadittaessa. Ensimmäisessä kappaleessa esitellään laitteisto pääpiirteittäin opiskelijoille. Toinen kappale sisältää tehtävänannon ja kolmannessa on opettajan työn tueksi malliratkaisu.

7.1 Laitteiston esittely

Prosessikaaviossa (LIITE 4) on esitetty prosessin ohjelmallinen tavoitetoiminta. Kaaviossa on esitetty prosessin toiminnalliset laitteet ilman kulkusuunnan mukaisessa järjestyksessä. Ensimmäisenä ohjauslaitteena esitetään hätäseis-kytkin, joka katkaisee ohjausjännitteen kaikilta laitteilta.

Ilmanvaihtokanavan alkupäässä on releohjauksella ohjelmallisesti säädettävä sulku-pelti, jolla voidaan rajoittaa ilmapvirtaa. Puhallin on liitetty taajuusmuuttajan, jota voidaan ohjata logiikan avulla. Paluutietona siltä saadaan kierrosnopeus. Moottorin jäl-

keen kanava jakautuu kolmeen haaraan. Haarautumiskohdassa on staattista painetta mittaava anturi ja lämpötila-anturi. Anturit toimivat jänniteviestillä 0-10Vdc siten että lämpötila paine skaalautuu 0-1000Pa ja lämpötila 0-100°C.

Kahdessa ylimmässä haarassa on vakiovirtaussäätimet, joita ohjataan 0-10Vdc jänniteviestillä. Säätimien maksimivirtaus on 600l/s, joten yhden voltin nousu ohjausjännite vastaa 60l/s. Alimmaisessa kanavassa on mekaaninen virtaussäädin, jonka virtausarvo voidaan laskea k-kertoimen ja dynaamisen paineen avulla.

7.2 Työselostus

Tutustutaan laitteistoon prosessikaavion avulla ja selvitetään toimilaitteiden ja anturien tehtävät. Luodaan logiikan I/O-taulu ja testataan laitteiston toimintaa ohjelmallisesti.

Aluksi laitteistoa ajetaan normaalina moottorikäyttönä, jolloin taajuusmuuttajalle asetetaan vakionopeus 2000 RPM. Ilmavirtaus asetetaan vaadittuun tasoon esim. 200 l/s ilmanottoaukon sulkuventtiiliä ja vakiopaineventtiilejä säätämällä. Kuluva sähköteho saadaan logiikkaan kytketyn kWh-mittarin avulla, joka tulee ohjelmoida FAST-lohkoon. Ilmanvaihtokanavissa pidetään yllä vakiopainetta 100Pa.

Seuraavaksi käytetään taajuusmuuttajaa ilmavirran säätämiseen. Kanavissa pidetään yllä vakiopainetta ja ilmavirtaus kaikissa kolmessa putkessa pidetään annetuissa arvoissa. Kerätään jälleen kulutustietoa energiamittarilta logiikalle.

Pohditaan taajuusmuuttajakäytön kannattavuutta kyseisessä laitteistossa kun sitä käytetään toimistorakennuksen ilmanvaihtoon arkipäivisin klo 7.00-20.00 elokuusta toukokuuhun (siis. 10 kk.). Laitteistoon soveltuvan taajuusmuuttajan hinta tulee selvittää esim. SLO:n sivuilta. Mitä muita antureita laitteistoon voidaan liittää energiatehokkuuden parantamiseksi?

7.3 Malliratkaisu

Vihjeitä ohjelman rakentamiseen PL7-ohjelmointiympäristössä on esitetty päättötöön ohjelmointi-osiossa. Opiskelijoiden käyttöön voidaan antaa päättötöy kokonaisuudessaan tai joitakin monisteita keskeisimpien ohjelmalohkojen toteuttamisesta.

Energian kulutusta pohdittaessa energian hinnaksi voidaan arvioida 10 sent/kWh ja taajuusmuuttajan hinnaksi 1450€(ABB ACS800:n verollinen listahinta). Puhaltimen tulee siis kuluttaa 10 kk aikana vähintään 12 MWh, jotta sijoitus kannattaa.

Käyttötunteja (t) kertyy 10 kuukauden aikana

$$t = 13h * 5(day) * 4(week) * 10(month) = 2600h$$

Jolloin moottorin nimellisteholla(4kW) energiaa kuluu

$$E = 2600h * 4kW = 14000kWh$$

Ja hintaa kertyy

$$14000kWh * 0,1€ = 1400€$$

Testikäyttöjen perusteella taajuusmuuttajakäytössä energiaa säästyy noin 50%, joten energiaa kuluu vuodessa 700€ edestä. Kustannusten erotus on näin ollen 700€ joten taajuusmuuttaja maksaa itsensä takaisin jo kahdessa vuodessa.

Energiatehokkuus parantuu erilaisilla läsnäolotunnistimilla, joiden avulla vältetään ilmanvaihdon turha käyttäminen. Tällaisia tunnistimia voivat olla ajastimet, kytkimet taikka liiketunnistimet.

7.4 Tavoitteiden täytyminen

Työn tavoitteena oli saada aikaan harjoitustyö sähkötekniikan opiskelijoille. Työhön kuului puhallinprosessin instrumentointi, dokumentointi ja kirjallinen osuus. Työselostuksen yhteyteen liitin prosessikaavion, jonka avulla laitteiston toimintaa voi havainnollistaa. Laadin myös malliohjauksen, jossa järjestelmä kehittää PI-säädöllä kanavistoon vakioapaineen ja ohjaa vakiovirtaussäätimille vaaditun asettelu.

Projektia varten oli määrä hankkia tarvikkeita kohtuullisella budjetilla. Taajuusmuuttaja kierrätettiin sähkölaboratoriosta ja logiikka on vanhempaa sukupolvea. Laitekotelot purettiin vanhasta prosessista. Asennus ja kiinnitystarvikkeita hankittiin lisäksi XX eurolla. Työtunteja instrumentointiin ja ohjelmointiin kului n.110 tuntia, mutta näistä ei luonnollisesti veloitettu kuluja. Lisäksi sähkö ja LVI-alojen opettajia konsultoitin yhteensä n. 14 tuntia josta ei myöskään aiheutunut hankkeelle erillisiä kuluja.

7.5 Kehitysideoita

Logiikalla voidaan mallintaa kanavistoon virtaavan ilman määrää puhaltimen ominaiskäyrän avulla. Vakiovirtaussäätimien lävitse virtaava ilman määrä nähdään suoraan oloarvosta. Käsiasäätöisen virtaussäätimen virtauksen selvittämiseksi tulee tietää säädön k-arvo ja dynaaminen paine. Mikäli alimmaiseen kanavaan asennetaan logiikkaan kytketty säätöpelti ja paine-erolähetin voidaan arvot lukea anturitietona ja ilmavirtaus laskea ohjelmallisesti.

Alimmainen kanava voidaan varustaa läsnäolotunnistimella (vaikkapa painonappi), jota painettaessa logiikka ohjaa virtausta alimmaiseen kanavaan. Säädön tulisi tuolloin säilyttää vakioaine paine kanavistossa kuormituksen muuttumisesta huolimatta.

8 MITÄ OPIN

Työtä vastaanottaessani tiesin omaavani rajalliset tiedot ilmanvaihtotekniikasta. Myös moottorin ohjaamiseen taajuusmuuttajalla olin tutustunut lähinnä pintapuolisesti. Aihe vaikutti kuitenkin mielenkiintoiselta ja haastavalta, joten aloin päättäväisesti etsimään tietoa työhöni liittyen oppikirjoista sekä lähteenä listatuista teoksista. Tärkeässä roolissa oppimisprosessissani olivat koulumme opettajat, joilta sain arvokasta ohjausta ja asiantuntemusta niin ilmanvaihto- kuin sähkötekniikassa kysymyksissä.

Tutustuin oman oppimiseni tueksi ilmanvaihtotekniikan perusteita käsittelevään oppikirjaan /1./, jonka pohjalta laadin työni ensimmäisessä kappaleessa olevan ilmanvaihtotekniikan perusteita käsittelevän tekstin. Oli kiinnostavaa ymmärtää kuinka paljon suunnittelua ja työtä kunnollisen sisäilman tuottaminen vaatii.

Työn aikana kohtasin tilanteita, joissa oma ammattitaitoni ei riittänyt ongelmien ratkaisemiseen, vaan jouduin etsimään tietoa ja toimintamalleja laitteiden ja ohjelmien käsikirjoista ja oppaista. Tällainen tapahtumaketju mahdollisti mm. ohjelmoinnin PL7-ympäristössä.

Työn tekeminen oli opettavainen kokemus myös projektipohjaisesta työskentelystä. Alussa sain toimeksiannon, jota rajattiin työn tilaajan eli koulun ja minun vaatimusteni mukaisesti. Laadin itselleni aikataulun ja ryhdyin suunnittelemaan projektin läpiviennin. Tasaisin väliajoin raportoin työtäni valvovalle opettajalle välitavoitteiden täyttymisestä. Loppuvaiheessa kävimme läpi toteutusta ja raportointia. Sain rakentavaa palautetta muutosehdotusten ja työni arvioinnin muodossa.

Havaitsin työtä tehdessäni pystyväni tarttumaan haastaviinkin tehtäviin ja hyödyntämään tiedonhankintataitojani ja verkostojani tavoitteiden saavuttamiseksi. Huomasin myös että tavoitteen jakaminen hallittaviin kokonaisuuksiin on välttämätöntä prosessin aikataulutuksen ja läpiviennin kannalta. Opintojeni aikana kerätyt mallit projektipohjaisesta työskentelystä ja tiedonhankinnan keinoista tukivat työskentelyäni.

LÄHTEET

1. Seppänen, Olli. Ilmastoinnin Suunnittelu. Forssa: Suomen LVI-liitto 2004.

2. Pesonen, Kalle. 2010. Kuvamateriaali.

3. Fonselius, Jaakko. Automaatiolaitteet. Helsinki: Edita 1996.

4. Hyppönen, Jouko. Lehtori. 29.9.2010. Keskustelu.

5. Piirainen, Keijo. Laboratorioinsinööri. Syyskuu 2010. Keskustelu.

6. Salomaa, Heikki. Tuotepäällikkö. Sähköpostiviesti 23.9.2010.

101. Enston kestopuovikotelot. Verkkosivusto.

http://products.ensto.com/catalog/15088/product/22165/CPCF204018T_FIN1.html.

Päivitetty 2010. Luettu 29.4.2010.

102. Operaatiovahvistinkytkenät. Verkojulkaisu.

http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:Opamp_diagrams_and_pinout.png. Päivitetty

17.4.2005. Luettu 29.4.2010

103. Trox:n vakiovirtaussäätimet. Verkkosivusto.

<http://www.troxtechnik.com>. Päivitetty 9.8.2010. Luettu 8.9.2010.

104. Modicon TSX Micro. Verkkosivusto.

<http://www.schneider-electric.co.uk/sites/uk/en/products-services>. Päivitetty 9.8.2010

Luettu 8.9.2010.

105. National Instruments tuotteet. Verkkosivusto.

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/201987>. Ei päivitystä. Luettu

12.9.2010.

106. ABB:n pienjännite moottorimanuaali. PDF-dokumentti.

<http://www.abb.com/product/ap/seitp322/30adc8e54ea9aa6ec125744f003f96da.aspx>
Päivitetty 11.3.2009. Luettu 12.9.2010.

107. WEXON tuoteluettelo. verkkojulkaisu.

<http://www.wexon.fi/luettelo/index.html?pgnumb=34>. Ei päivitystä. Luettu 15.9.2010.

108. Micro STX manuaali. PDF-dokumentti

http://v1.graybar.com/automation/ga_manuals/Hardware/TsxMicro/TSXDM3750E%20Over%204_3%20-%20Micro%20PLCs%20Implementation%20Manual%201.pdf

Päivitetty 28.2.2002 Luettu 16.9.2010.

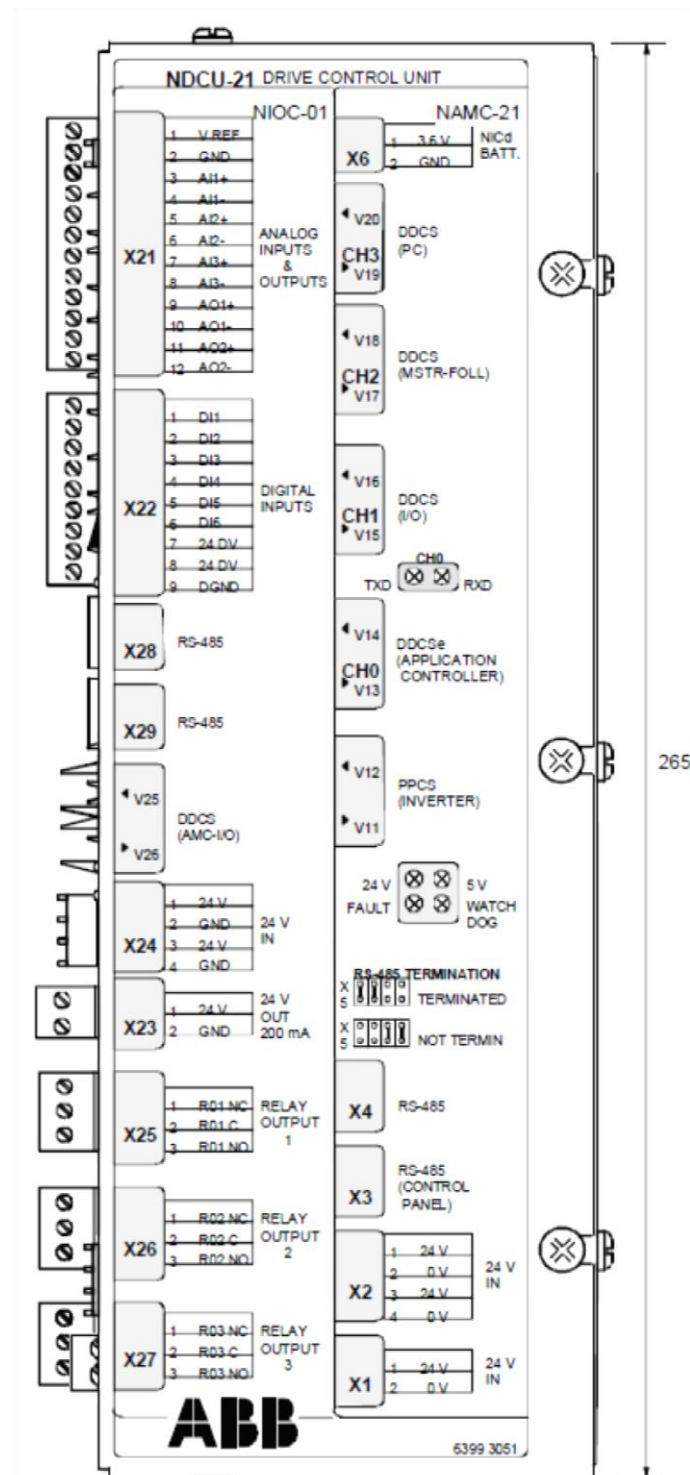
109. Taajusmuuttajamanuaali. PDF-dokumentti.

<http://www05.abb.com/global/scot> Päivitetty 19.7.2001 Luettu 5.10.2010.

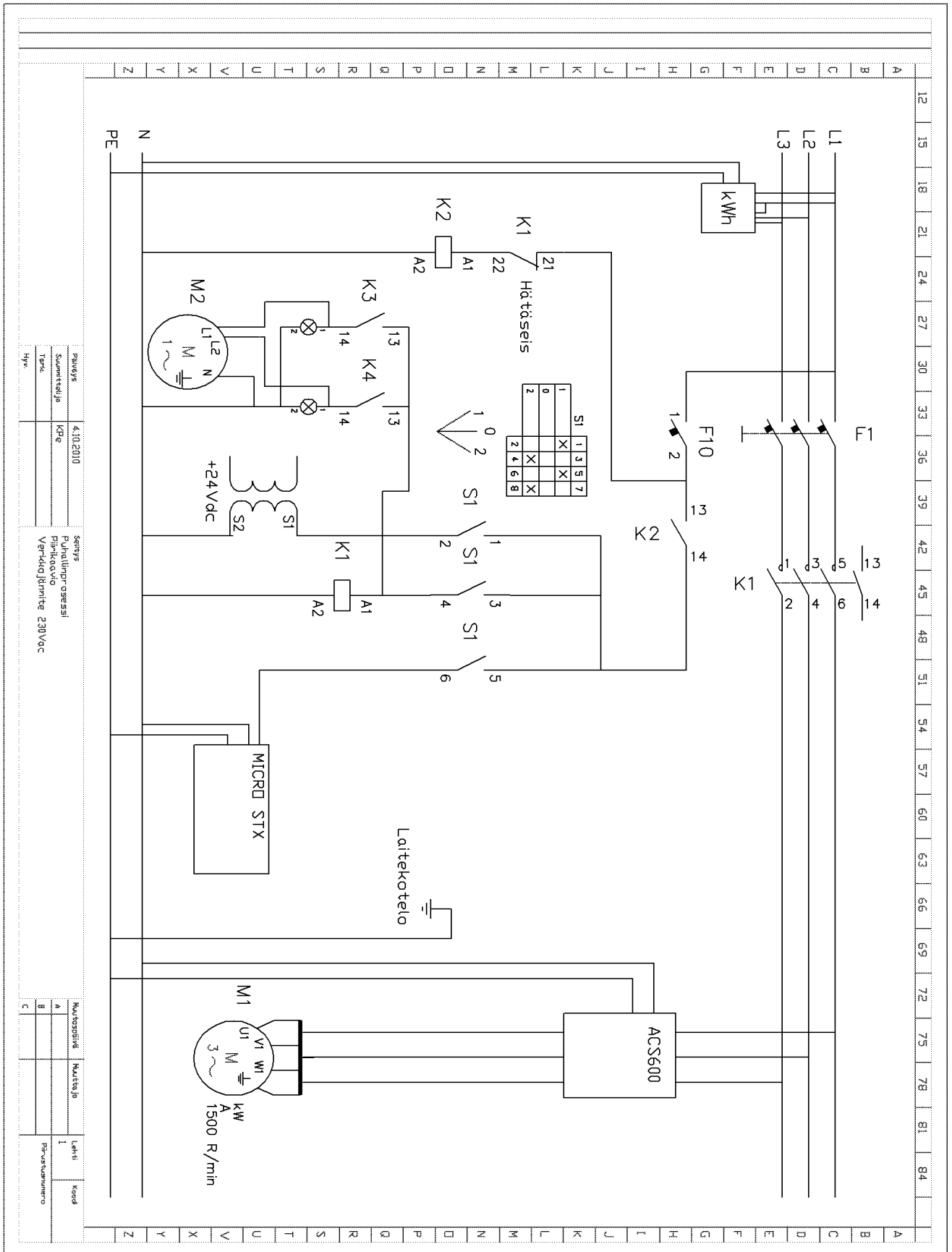
110. Omron hakkurilähde. Verkkosivu.

http://www.omron-ap.com/product_info/S8JX-G/index.asp Päivitetty 10.6.2010 Luettu 6.10.2010.

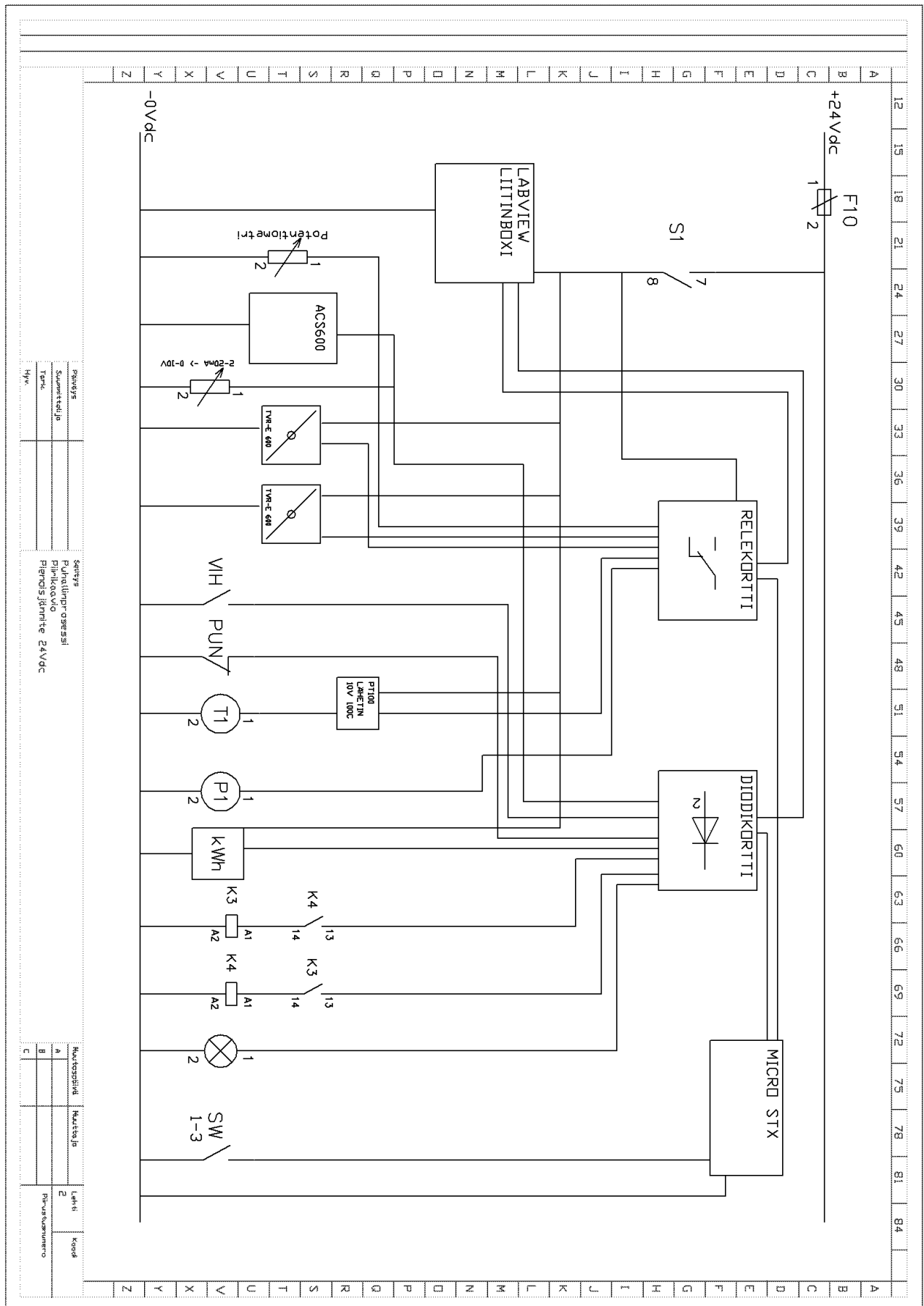
LIITTEET



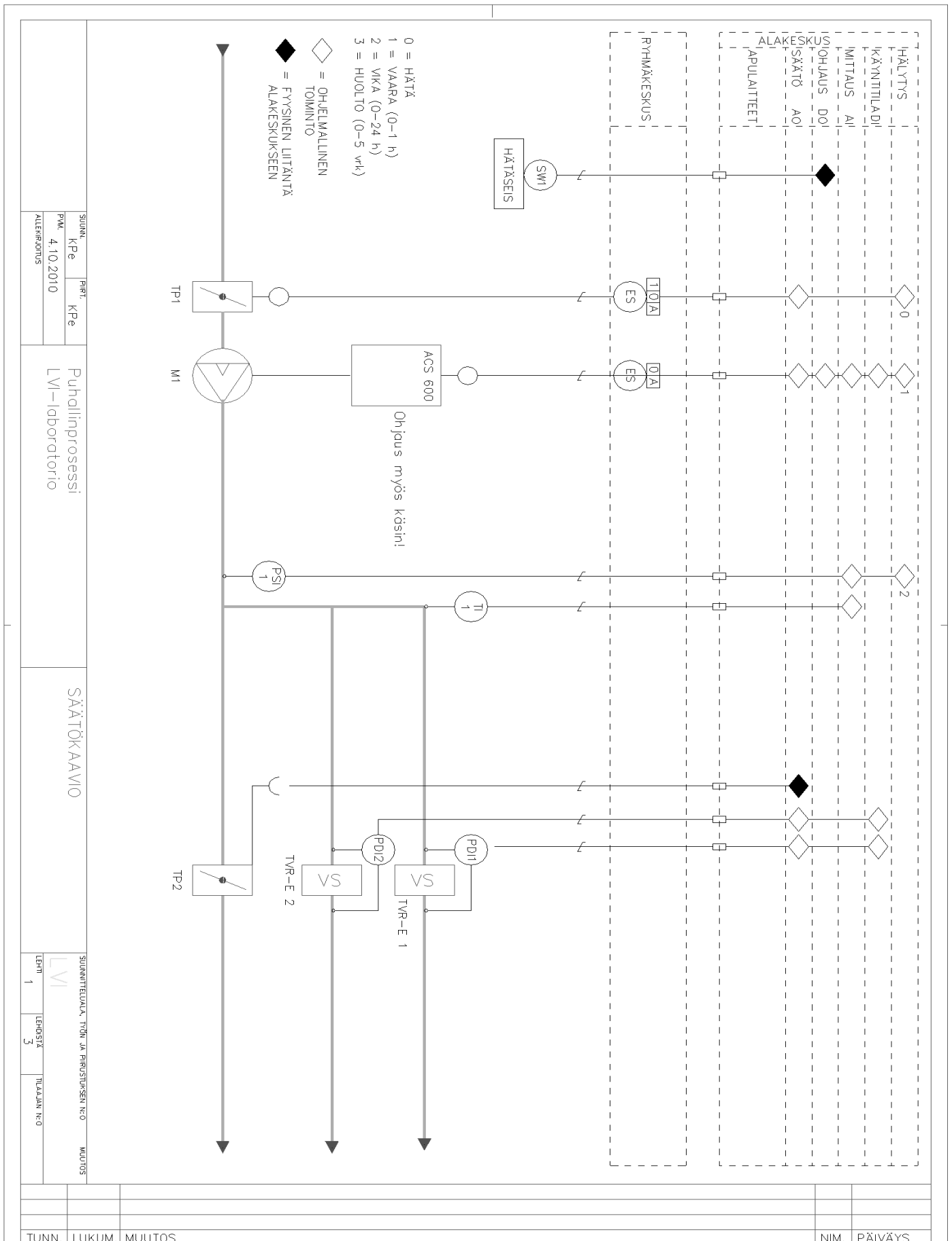
LIITE 1. ACS 600:n liittimet



LIITE 2. Piirikaavio verkkovirta



LIITE 3. Piirikaavio pienoisjännite



LIITE 4. Prosessikaavio